



BACHELORARBEIT

Herr
Richard Hardege

**Erstellung und Evaluierung
von Bildmaterial mittels einer
Panorama-3D-Kamera**

2015

BACHELORARBEIT

Erstellung und Evaluierung von Bildmaterial mittels einer Panorama-3D-Kamera

Autor:
Herr Richard Hardege

Studiengang:
Medientechnik (B. Eng.)

Seminargruppe:
MT11wF-B

Erstprüfer:
Professor Mike Winkler

Zweitprüfer:
Dipl.-Inf. Robert Knauf

Einreichung:
Mittweida, 23. Januar 2015

BACHELOR THESIS

Production and evaluation of captured footage by means of a panoramic 3D camera

author:

Mr. Richard Hardege

course of studies:

Medientechnik (B. Eng.)

seminar group:

MT11wF-B

first examiner:

Professor Mike Winkler

second examiner:

Dipl.-Inf. Robert Knauf

submission:

Mittweida, 23rd of January 2015

Bibliografische Angaben

Nachname, Vorname: Hardege, Richard

Erstellung und Evaluierung von Bildmaterial mittels einer Panorama-3D-Kamera

Production and evaluation of captured footage by means of a panoramic 3D camera

73 Seiten, Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences,
Fakultät Medien, Bachelorarbeit, 2015

Abstract – english version

This scientific work examines the workflow and the captured footage of a panoramic 3D camera. In the course of the work different test scenarios are planned to analyse the camera prototype. Furthermore these tests were carried out for the first time in this extent with this device. The present work puts the question whether S3D panoramic footage can be provided with this prototype. As a main literature the book "Stereo 3D", written by Holger Tauer, was used. Moreover the writer analysed research reports and scientific books on the issue of „panoramic pictures“ and „Stereo 3D“. This scientific work comes to the conclusion that the prototype is not able to produce panoramic 3D-footage.

Abstract – deutsche Version

Die vorliegende Arbeit untersucht den Workflow und das entstehende Bildmaterial einer Panorama-3D-Kamera. Im Zuge der Arbeit werden verschiedene Testszenarien zu dem Prototypen geplant. Dabei wurden diese Tests erstmals in diesem Umfang an dem Gerät durchgeführt. Die vorliegende Arbeit stellt die Frage, ob mit dem Prototypen ein S3D-Panorama erstellt werden kann. Als Hauptliteratur zur Erarbeitung galt das Buch „Stereo 3D“ von Tauer, sowie weitere wissenschaftliche Bücher und Forschungsberichte zum Thema „Panorama“ und „Stereo 3D“. Die vorliegende Arbeit kommt zu dem Schluss, dass mit dem Prototypen keine solche Aufnahmen getätigt werden können.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	IX
Abbildungsverzeichnis	X
Tabellenverzeichnis	XI
1 Einleitung.....	1
2 Grundlagen.....	3
2.1 Monokulares und binokulares Sehen	3
2.2 Stereoskopie in der Kinematographie.....	9
2.2.1 Bildgestaltung in der Stereoskopie	11
2.2.2 Bestimmung von Brennweite, Abstand und Stereobasis	14
2.2.3 Justierung und Ausrichtung der Kameras.....	15
2.2.4 Stereofenster	18
2.2.5 Tiefenumfang und Tiefenspielraum	19
2.3 Panorama und 3D	20
3 Testreihenplanung	22
3.1 Vorbetrachtungen zu den Testläufen	22
3.1.1 Abruf der Streamingdaten	24
3.1.2 Kamerakalibrierung mit Hilfe der MDC-Software	25
3.1.3 Workflow zum Testbild	27
3.1.4 Erste Inbetriebnahme des Kamerakomplex.....	29
3.1.5 Aufzeichnung der Streaming-Daten	32
3.1.6 Konvertierung der Videodateien in einzelne Bilddateien.....	34
3.2 Aufnahmen im Studio bei statischer Umgebung.....	35
3.3 Aufnahmen im Studio bei bewegter Umgebung	38
4 Auswertung der Testaufnahmen.....	40
4.1 Unbewegte Studioumgebung	43
4.2 Einsatzszenario Außenaufnahme.....	45
4.3 Evaluierung des Bildmaterials	46
5 Optimierung des Kamerakomplex	49
5.1 Verbesserungsvorschläge für die Software	49
5.2 Verbesserungsvorschläge für die Hardware.....	50
6 Schlussbetrachtung.....	53

Literaturverzeichnis	XI
Anlagen 1 – Stereobilder	XII
Anlagen 2 – Zeichnungen	XV
Anlagen 3 – Testdokumentation	XVII
Eigenständigkeitserklärung	XX

Abkürzungsverzeichnis

DHCP – „Dynamic Host Configuration Protocol“, ein Kommunikationsprotokoll

HDMI – „High Definition Multimedia Interface“, weit verbreitetes Interface zur Übertragung multimedialer Daten

IP – Internet- oder Netzwerkprotokoll

MAC-Adressen – „Media Access Control Adress“, ID eines Gerätes in einem Netzwerk

ROI – „Range of Interest“, der einstellbare sichtbare Bereich, welcher von der Kamera ausgegeben werden soll

USB – „Universal Serial Bus“, weit verbreitete serielle Schnittstelle

VLC-Player – „VideoLAN Client-Player“, open source-Software zur vielfältigen Wiedergabe von Mediendateien

VLM – „VideoLAN Manager“, Filebezeichnung für ausführbare Skripte in Verbindung mit dem VLC-Player

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zeichnung zur Erklärung der Funktion der Parallaxe [vgl. Tauer 2010, S. 22ff].....	4
Abbildung 2: Beispiel Stereobild anaglyph extrem (klein)	5
Abbildung 3: Darstellung Tiefenumfang und Tiefenspielraum.....	19
Abbildung 4: Computernetzteil zur Speisung des Kamerakomplex.....	23
Abbildung 5: Screenshot der Kamerasoftware.....	25
Abbildung 6: Testchart zur Kalibrierung des Kamerasystems.....	27
Abbildung 7: Platinenanordnung im Kopf des Komplex	31
Abbildung 8: Kalibrierung der Kameras "über Eck"	37
Abbildung 9: Versuchsaufbau für die Feststellung des Mindestabstandes.....	38
Abbildung 10: Aufnahme 8 - Starke Latenz zwischen Teilbildern.....	40
Abbildung 11: Aufnahme 8 - Ghostings aufgrund von Latenzproblemen	41
Abbildung 12: Aufnahme 5 - Überlagerungen nach Kalibrierung	41
Abbildung 13: Aufnahme 6 - FRONT und RIGHT kombiniert.....	42
Abbildung 14: FRONT und DOWN bei Minimalabstand.....	44
Abbildung 15: Collage der drei Blickrichtungen	45
Abbildung 16: Screenshot der Analyse mittels FFMPEG	47
Abbildung 17: Starke Kompressionsartefakte im Bild	48
Abbildung 18: Gerät des Herstellers „Kappa“ mit Body.....	50
Abbildung 19: Schematische Zeichnung für Verbesserungsvorschlag.....	52
Abbildung 20: Beispiel Stereobild extrem side-by-side	XII
Abbildung 21: Beispiel Stereobild anaglyph korrigiert	XII
Abbildung 22: Beispiel Stereobild anaglyph extrem (groß)	XIII
Abbildung 23: Test des Mindestabstands	XIII
Abbildung 24: Latenz sichtbar im Bild.....	XIV
Abbildung 25: Abstände 2,50m und 4,00m.....	XIV
Abbildung 26: Schematische Zeichnung des Verbesserungsvorschlag (groß).....	XV
Abbildung 27: Testchart (groß)	XVI
Abbildung 28: Unschärfe und Komprimierungsfehler	XIX

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kameradaten zu MAC-Adressierung, Seriennummer und IP	24
Tabelle 2: Kamera-Objektiv-Zuweisung.....	30
Tabelle 3: Konzept für ein VLM-Script mit Batch-Datei zur Streamaufzeichnung.....	33
Tabelle 4: Quelltext der Batch-Datei zur Steuerung von FFMPEG	34
Tabelle 5: Vollständiges VLM-Script:.....	XVII

1 Einleitung

Seit der Digitalisierung des Kinos und der einhergehenden leichteren und günstigeren Verbreitung von 3D-Filmmaterial, bekam der Hype um den "3D-Effekt" eine neue auflebende Bedeutung. Neben 3D-fähigen Wiedergabegeräten und der ausschließlichen Verwertung vieler Filme als "3D-Film" im Kino scheint der "Trend 3D" wieder aufzuflammen und sich besser zu verkaufen, als je zuvor. Im Zuge dieser Entwicklung hat die Hochschule Mittweida ein Forschungsprojekt gestartet. In Zusammenarbeit mit verschiedenen Unternehmen und der "Technischen Universität Chemnitz" sollte ein 3D-Projektionscontainer mit zugehörigen Kamerasystem entwickelt werden. Das Kamerasystem sollte in der Lage sein, ein 180°-Panorama-Blickfeld aufzuzeichnen. Das entstehende Bildmaterial sollte in einem Projektionscontainer wiedergegeben werden. Bis zum Ende des Forschungszeitraums entstand ein Prototyp, welcher im Rahmen des Projekts getestet und verbessert wurde. Die in den Zielen erwähnten Testaufnahmen konnten allerdings aufgrund von Lieferverzugs verschiedener Unternehmen nicht realisiert werden. Aktuell liegt der Hochschule der Prototyp 2 vor, welcher allerdings noch nicht auf Funktionstüchtigkeit getestet wurde. In Rücksprache mit zwei Bearbeitern des Forschungsprojektes, Herrn Robert Knauf und Herrn Mirko Lenz, entwickelte sich so die Thematik dieser Arbeit.

Ziel dieser Arbeit soll es sein, Bildmaterial mittels des zweiten Prototyps zu erstellen und anschließend unter wichtigen Gesichtspunkten der Bildgestaltung und Stereoskopie zu evaluieren. Die Arbeit soll klären, ob mit Hilfe des Prototyps Panorama-3D-Aufnahmen getätigt werden können. Die Betrachtung basiert dabei auf den Grundlagen der Stereoskopie. Dazu gehören die Erläuterung der Funktionsweise des stereoskopischen Sehens, die Erklärung der wichtigsten Kerngrößen der Stereoskopie. Des Weiteren sollen die Begriffe Bildgestaltung, Parallaxe, Disparität, Akkommodation, Konvergenz und zeitliche- bzw. räumliche Auflösung erklärt werden. Mit dem Verständnis über diese Grundlagen, können gebräuchliche Techniken bei der Aufzeichnung von stereoskopischen Bildmaterial erklärt werden. Sie dienen auch dem Verständnis der Funktion von Stereo-3D und nicht zuletzt dem Gerät selbst.

Im Mittelpunkt der Arbeit steht ein Praxistest, welcher die übergreifende Zielstellung hat, technisch sauberes Bildmaterial zu produzieren, welches in dem Projektionscontainer betrachtet werden kann. Das Kamerasystem wurde bisher nur unter Laborbedingungen und nie mit vollständiger Funktionalität aller 10 Kameras getestet. Die Testläufe laufen dabei in zwei Stufen ab. Stufe eins umfasst den Test des Systems bei statischen Objekten vor dem Kamerarig. Als Testumgebung wird dazu das Fernsehstudio des Medienzentrums der Hochschule Mittweida genutzt. Hierbei soll vor allem großer Wert auf die Feststellung der Grenzen und Richtlinien zur Arbeit mit dem Gerät gelegt werden. Dazu zählt unter anderem das Darstellungsverhalten an den Rändern

und Ecken des Bildausschnittes, der Mindest- und Maximalabstand zum Objekt, sowie die Feststellung über die benötigte Beleuchtungsintensität. Hierbei sollen auch die Parameter für die Programme zur Steuerung und Aufzeichnung hervorgehen, damit der Benutzer ein "Preset" zur Verfügung gestellt bekommt. Im Falle eines befriedigenden Testergebnisses wird in Stufe zwei, unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus Stufe eins, eine Testumgebung mit bewegten Objekten gewählt. Der Testlauf der Stufe zwei findet ebenfalls in einer Studioumgebung statt. Ziel dieses Tests ist die Feststellung der Darstellungseigenschaften des Gerätes bei bewegten Objekten. Dabei ist insbesondere die Untersuchung des Darstellungsverhaltens im Randbereich und die Untersuchung der Synchronität von großer Bedeutung. Diese Ergebnisse sollen ebenfalls in ein "Preset" einfließen.

Alle Testläufe werden in der Arbeit geplant, durchgeführt und ausgewertet. Dabei sollen die Ergebnisse in die Entwicklung eines allgemeingültigen "Presets" einfließen und eine Basis für die Handhabung und Kalibrierung des Kamerakomplexes in der Praxis darstellen. Im Anschluss an die Erstellung des Bildmaterials erfolgt die Bearbeitung mit Hilfe von Tools, welche in der Arbeit erläutert werden. In einem abschließenden Kapitel werden die Ergebnisse der Testläufe und der einhergehenden Bearbeitung und Aufzeichnung des Bildmaterials zusammengefasst. Ferner soll in diesem Kapitel eine Einschätzung zur Arbeit und dem Workflow mit dem Kamerakomplex gegeben werden. Die Einschätzung sollte auch für eine eventuelle Weiterentwicklung des Komplex brauchbar sein, da durch die Testläufe erstmals eine Nutzung in der Praxis realisiert wurde.

Um die Arbeit zu bebildern und die Wirkung von 3D-Bildern zu verdeutlichen, nutzte der Autor die anaglyphe Darstellung in den Farben rot und cyan. Dabei werden den Augen durch Farbfilter die unterschiedlichen Teilbilder „zugeteilt“. Viele Abbildungen im Fließtext befinden sich in den Anlagen zudem als große Abbildung, damit die Wirkung besser nachvollzogen werden kann. Die anaglyphen Darstellungen wurden dabei mit der Software „StereoPhoto Maker 5.06“ erstellt und bearbeitet.

2 Grundlagen

Der Mensch ist mit Hilfe der beiden Augen in der Lage stereoskopisch zu sehen. Der Begriff Stereoskopie stammt aus dem griechischen und setzt sich zusammen aus den Worten „stereos“ für Körper oder Raum und „skopein“ für Sehen.¹ Im Gegensatz zum zweiäugigen Sehen „(...) liefert das einäugige Sehen nur eine Tiefenvorstellung im Gegensatz zu der Tiefenwahrnehmung, wie sie durch das Zusammenwirken unserer beiden Augen zustande kommt.“²

2.1 Monokulares und binokulares Sehen

Dabei ermöglicht das sogenannte binokulare Sehen dem Menschen ein Hohes Maß an Präzision, zum Beispiel im Umgang mit Werkzeugen. Besonders im Nahbereich bis 100cm Entfernung ermöglicht das binokulare Sehen eine sehr genaue Ausführung von Tätigkeiten. Diese hohe Präzision hat ihren Ursprung in der Auswertung zweier unterschiedlicher Bilder im Gehirn: Durch die Betrachtung eines Objektes mit beiden Augen entstehen zwei Teilbilder, welche aufgrund des Augenabstandes eine unterschiedliche Perspektive auf dieses Objekt besitzen. Diese beiden Teilbilder werden von bestimmten Bereichen des Gehirns auf deren Unterschiede hin ausgewertet. Diese Informationen verarbeitet das Gehirn, wobei der Mensch ein Gefühl für die dritte Dimension, also die Tiefe des Objektes, bekommt. Mit Hilfe des binokularen Sehens ist es dem Menschen also möglich, eine genaue Einschätzung darüber zu treffen, ob sich das betrachtete Objekt vor oder hinter einem anderen Objekt befindet.³ Dieser Vorgang der Auswertung der beiden Teilbilder, welche beide Augen liefern, ist ein stetiger Prozess. Die Augen bewegen sich und fixieren stetig neue Punkte, wodurch das Gehirn stetig neue Tiefeninformationen zu verarbeiten hat. Um diese Prozesse des Sehens und der Auswertung sogenannter Disparitäten zwischen den Teilbildern der Augen zu erklären, gibt es drei wichtige Kenngrößen: Die Augenparallaxe, die Akkomodation und die Konvergenz.

Beim Betrachten eines Objektes bilden beide Augen ein perspektivisch leicht versetztes Bild auf der Netzhaut ab. Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass die Augen in einem bestimmten Abstand zueinander angeordnet sind und somit unterschiedliche

¹ vgl. Vierling 1965, S. 2

² Vierling 1965, S. 2

³ vgl. Tauer 2010, S. 3

Sehachsen bilden. Diese Sehachsen werden Parallaxe genannt.⁴ Wenn die Augen ein Objekt fixieren entsteht zwischen diesen Sehachsen ein Parallaxenwinkel.⁵ Aus dem Prinzip der Parallaxe ergeben sich viele Sachverhalte im Hinblick auf die Stereoskopie, welche auch in späteren Kapiteln Bestandteil der Arbeit sein werden.

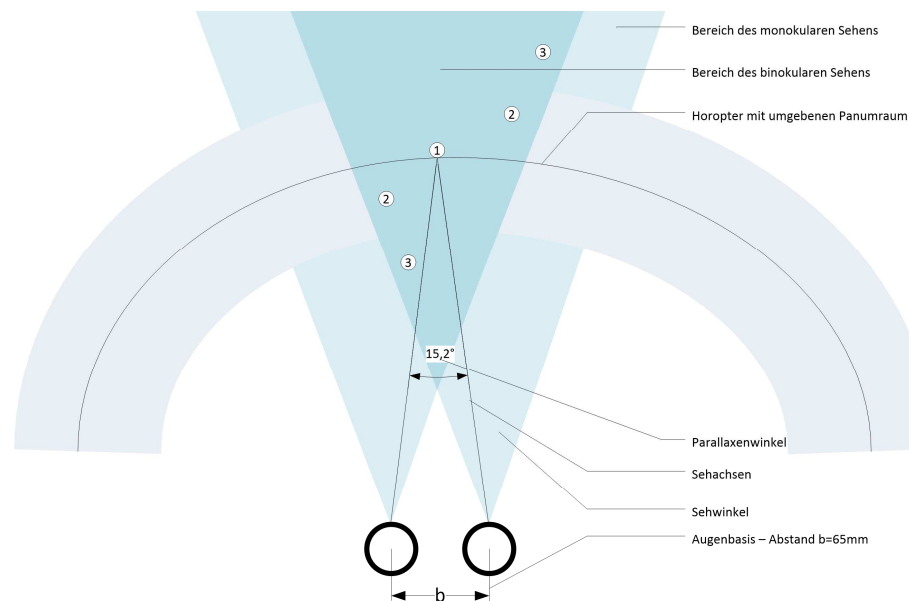


Abbildung 1: Zeichnung zur Erklärung der Funktion der Parallaxe [vgl. Tauer 2010, S. 22ff]

Als Beispiel zur Verdeutlichung der Funktion der Parallaxe dient Abbildung 1. Die Zeichnung beschreibt dabei einen theoretischen Fall, da aufgrund von sehr schnellen Augenbewegungen und einer steten Abtastung der Umgebung die Augen nie lediglich einen Punkt fixieren könnten und dieses Gefüge in ständiger Veränderung inbegriffen ist. In dem vorliegenden Beispiel fixieren die Augen den Punkt 1. Dabei besitzen beiden Augen einen bestimmten Abstand zueinander, welcher als Augenbasis bezeichnet wird. Die Augenbasis liegt im Schnitt bei $b = 65\text{mm}$. Durch die Fixierung von Punkt 1 besitzen beide Augen eine unterschiedliche Sehachse und einen daraus resultierenden Sehwinkel. In den Bereichen, in denen sich die Sehwinkel überschneiden ist der Mensch in der Lage binokular zu sehen. Außerhalb dieses Bereichs sieht der Mensch monokular – also einäugig. Ein stereoskopisches Bild entsteht allerdings nur in dem sogenannten Panumraum. Dieser umgibt den Horopter, eine gedachte halbkreisähnliche Linie, welche sich unter gleichen Parallaxewinkel und im gleichen Abstand vom

⁴ vgl. Schmidt 2011, S. 240

⁵ vgl. Tauer 2010, S. 21

Betrachter links und rechts des fixierten Punkt 1 befindet.⁶ Bei der Fokussierung der Augen auf ein bestimmtes Objekt, entsteht ein Winkel zwischen den beiden Blickachsen der Augen. Dieser Winkel nennt sich "Konvergenzwinkel". Der fokussierte Punkt liegt dann auf einer Fläche, die als "Horoptyer" bezeichnet wird.⁷ Dementsprechend können von Punkt 2 Tiefeninformationen generiert werden, da diese sich innerhalb des Panumraums befinden. Für Punkt 3 gilt dies nicht mehr, da Punkt 3 außerhalb des Bereichs liegt. Die Unterschiede bzw. Disparitäten zwischen dem rechten und dem linken Netzhautabbild sind dementsprechend zu groß und können von dem Gehirn nicht in Tiefeninformationen umgewandelt werden. Punkt 1 besitzt in diesem konkreten Fall keine Disparitäten, da der fixierte Punkt auf der sogenannten „Nullebene“ liegt. Punkt 2 besitzt geringe Disparitäten. Durch diese lassen sich Tiefeninformationen generieren, wodurch der Mensch erkennt, ob Punkt 2 perspektivisch hinter oder vor Punkt 1 liegt.⁸

Die Disparitäten werden im Gehirn von sogenannten Stereoneuronen ermittelt. Es besteht eine Verbindung zwischen den Neuronen und der linken und rechten Netzhaut der Augen. Die Stereoneuronen vergleichen ständig beide Netzhautbilder miteinander. Die Abbilder besitzen entweder korrespondierende Punkte, also Stellen mit identischem Inhalt, oder Punkte mit einem gewissen Versatz, also einer Disparität.⁹



Abbildung 2: Beispiel Stereobild anaglyph extrem (klein)

In Abbildung 2 wurde der theoretische Fall der Abbildung 1 nachgebaut und fotografiert.¹⁰ Der Fixpunkt liegt auf der Tasse, genauer noch auf dem großen schwarzen

⁶ vgl. Hagendorf und Müller 2010, S. 103

⁷ vgl. Schmidt 2009, S. 27

⁸ vgl. Tauer 2010, S. 23

⁹ vgl. Hagendorf und Müller 2010, S. 105

¹⁰ siehe Anlagen 1 – Stereobilder

Buchstaben N. Der Bereich auf dem Horopter weist entsprechend keine Disparitäten auf. Der Henkel der Tasse wird allerdings bereits aus unterschiedlichen Perspektiven gesehen. Dies wird ersichtlich aufgrund der unterschiedlichen Randbereiche des Hänkels in den Farben cyan und rot. Die Nullebene schneidet aufgrund der leichten Drehung der Tasse das fixierte Objekt. Bei Betrachtung des Teelichts mit einer Anaglyphbrille, benötigt das Auge kurze Zeit um die Teilbilder in Einklang zu bringen. Hierbei wird ersichtlich, dass die Kerze fast am äußersten Rand des Panumraums positioniert ist. Würde die Kerze näher am Betrachter stehen, so würde das Stereobild unangenehm zu betrachten sein. Das Teelicht hat in dieser Abbildung eine negative Disparität, es steht also perspektivisch vor der Tasse. Ähnlich verhält es sich mit dem Stuhl hinter der Tasse, wobei dieser eine positive Disparität aufweist. Die Tür, welche sich hinter dem Stuhl befindet weist allerdings zu große Disparitäten auf. Die Bereiche der beiden Netzhautabbilder liegen zu weit auseinander und können entsprechend nicht auf Disparitäten ausgewertet werden. Bei der Betrachtung durch die Anaglyphbrille kommt es im Bereich der Tür zu sogenannten Geisterbildern.¹¹ Es handelt sich dabei um Bildinhalte, welche keine Bestandteil des dargestellten Bildes sein sollten. Diese Übersprechungsartefakte können einerseits bei Bildinhalten mit zu hohem Kontrast auftreten, zu sehen an markanten Kanten im Bild. Eine andere Möglichkeit sind Bilder mit zu großen Disparitäten. Diese zweite Möglichkeit greift bei Abbildung 2 bei Betrachtung der Tür im Hintergrund. Hierbei kann das Gehirn das Bild nicht fusionieren, wodurch Bildinhalte sichtbar werden, die nicht gewollt sind und dementsprechend fehlerbehaftet sind.

Beim natürlichen Sehen werden diese Bildbereich konsequent vom Gehirn unterdrückt. Bei stereoskopischen Fotos, Bildern und Filmen fallen diese Bildfehler dem Betrachter allerdings auf. Deshalb gilt es, bei der Produktion von stereoskopischen 3D-Inhalten eine wichtige Regel einzuhalten: „Der gesamte Vergleichsbereich des Auges umfasst etwa 1,5 Grad Sehwinkel, also 90 Winkelminuten. Dieser Wert ist eine grundlegende Kenngröße für die Stereoskopie. Bei stereoskopischen Bildern stellt er die ungefähre Grenze zwischen angenehmer und unangenehmer Betrachtung dar.“¹² Diese 90 Winkelminuten resultieren aus dem Durchmesser der Sehgrube, dem Ort des schärfsten Sehens auf der Netzhaut. Außerhalb dieses Bereichs existieren kaum Stereoneuronen, welche die Abbilder auf Disparitäten auswerten können.¹³

¹¹ vgl. Tauer 2010, S. 96

¹² Tauer 2010, S. 23

¹³ vgl. Tauer 2010, S. 25f

Mit der Fixierung der Augen auf einen bestimmten Punkt, findet gleichzeitig eine Einstellung der Schärfe und der Vergenz statt. Das „Scharfstellen“ wird als Akkommodation bezeichnet. Dabei wird die Linse des Auges durch Muskelkontraktion gestreckt oder gestaucht, wodurch sich die Brechkraft ändert und so das einfallende Licht auf die Netzhaut projiziert wird.¹⁴ Die Informationen zu Akkommodation des Auges entstehen durch die permanente Auswertung mittels kleiner unscheinbarer Augenbewegungen, sogenannter Mikrosakkaden.¹⁵ Das Auge tastet also gewissermaßen die Umgebung auf neue Informationen ab, das Gehirn verarbeitet dieses Bild zu einem großen Gesamtbild. Aus Abbildung 1 geht die Vergenzbewegung der Augen bereits hervor. Die Sehachsen konvergieren unter einem bestimmten Winkel zueinander – der Mensch „schielt“ also leicht um die wichtigsten Bildinhalte in die Sehgrube der Netzhaut zu projizieren. Dabei ist die Vergenzfähigkeit der Augen ab einer Entfernung von mehr als 20 Metern kaum noch relevant. Der wichtigste Bereich für die Konvergenz ist der Nahbereich zwischen 20cm und 100cm Entfernung vom Menschen. Hierbei können Konvergenzwinkel zwischen 17° bei 20cm und 3,5° bei 100cm Entfernung auftreten.¹⁶ Bei weniger als 20cm Abstand zu den Augen des Betrachters ist eine Konvergenz und Akkommodation nur schwer und weder ein binokulares, noch ein monokulares Sehen ohne weiteres möglich.

Somit findet auch das stereoskopische Sehen seine Schranken. Bei einer Entfernung von mehr als 1500 Meter zum fixierten Objekt ist eine Generierung von Tiefeninformationen nicht mehr möglich, da der Panumraum hier mehrere 100 Meter beträgt. Darüber hinaus ist eine Feststellung der Tiefe bei Entfernungen über 20 Meter kaum noch relevant für den Menschen. Dies hat seine Ursache in dem festen Augenabstand des Menschen. „Da der Abstand der Augen nicht veränderbar ist, sind binokulare Tiefenbestimmungen (Stereo-3D-Sehen) nur bis zu einer bestimmten Maximalreichweite möglich. Für weiter entfernt liegende Objekte ist die Stereobasis zu klein, die Unterschiede der beiden Bilder für die Netzhaut nicht mehr registrierbar.“¹⁷

Bei der Betrachtung der Begriffe zum monokularen und binokularen Sehen werden immer wieder die Begriffe „Tiefenhinweise“ und „Tiefeninformation“ aufgegriffen. Diese Informationen entstehen aus einer Vielzahl an Indikatoren und Disparitäten, welches das Gehirn auszuwerten hat. Einige Indikatoren sind bereits aus der Darstellung zwei-

¹⁴ vgl. Hagendorf und Müller, S. 102

¹⁵ vgl. Tauer 2010, S. 28f

¹⁶ vgl. Tauer 2010, S. 30ff

¹⁷ Tauer 2010, S. 3

dimensionaler Bilder bekannt und rühren aus dem monokularen Sehen her. Aus diesem Grund finden diese lediglich eine kurze Erwähnung in dieser Arbeit.

Monokulare Bildindikatoren für Tiefe sind die Atmosphärische Perspektive, die relative Höhe, die relative und gewohnte Größe, die Verdeckung, die Linearperspektive, die Bewegungsparallaxe sowie Schatten.¹⁸ Es wird ersichtlich, dass alle monokularen Tiefenhinweise immer in einem Bezug zu Etwas stehen. Die Atmosphärische Perspektive steht im Bezug zur Entfernung vom Betrachter, das heißt mit erhöhter Entfernung zum Betrachter nehmen die Kontraste ab und weit entfernte Objekte scheinen im bläulichen Dunst zu liegen. Auch bei der Bewegungsparallaxe entsteht ein Bezug zur Entfernung. Nahe Objekte werden bei einer schnellen Fahrt scheinbar schneller vorbeiziehen, als weiter entfernte Objekte. Zudem werden nahe Objekte durch eine Bewegungsunschärfe regelrecht „verschwimmen“. Starke parallele Linien fließen scheinbar in der Entfernung zusammen. Dieses Phänomen wird als Linearperspektive bezeichnet und besitzt eine sehr starke Tiefenwirkung.¹⁹

Zu den Binokularen Tiefenhinweisen zählen die Stereopsis und die binokulare Verdeckung, sowie die Konvergenz und Akkomodation. Letztere sind unmittelbar miteinander verkoppelt und beeinflussen sich besonders im Nahbereich bis einen Meter Entfernung gegenseitig. Problematisch wird dies bei der Betrachtung von künstlich erzeugten „3D-Bildern“. Bezugnehmend auf die Akkomodation wird dann stets die das Display oder die Kinoleinwand scharf abgebildet, die Konvergenz springt allerdings stets zwischen verschiedenen Winkelmaßen hin- und her. Aus diesem Grund empfinden Besucher des 3D-Kinos anfangs die Filme als sehr anstrengend, da diese Diskrepanz die Augen stark ermüden lässt.²⁰

Als Stereopsis wird die Fähigkeit des Gehirns bezeichnet, Objekte vor oder hinter etwas einzuordnen. Den Ursprung hat die Stereopsis in der Parallaxe der Augen. Im Bezug auf Abbildung 1, bei dem Punkt 1 fixiert wird, ordnet das Gehirn aufgrund der Stereopsis die Punkte 2 räumlich vor und hinter Punkt 1 ein. Die Teilbilder beider Augen werden im Gehirn virtuell zusammengefügt, wodurch ein Gesamtbild entsteht. Das entstehende Bild wird als „zyklopisches Bild“ bezeichnet.²¹ Durch den Vergleich der Teilbilder im Gehirn wird ein Versatz festgestellt. Ist dieser positiv, handelt es sich um

¹⁸ vgl. Tauer 2010, S. 44ff

¹⁹ vgl. Schmidt 2009, S. 27

²⁰ vgl. Tauer 2010, S. 52f

²¹ vgl. Tauer 2010, S. 53

eine ungekreuzte Disparität. Das Objekt befindet sich also hinter dem Fixpunkt. Liegt es davor, ist der Versatz negativ, die Disparität gekreuzt.²²

Ähnlich der Verdeckung beim monokularen Sehen, existiert auch bei einer binokularen Betrachtung eine Verdeckung. Durch die Parallaxe kann diese noch stärker ausgeprägt sein. Die binokulare Verdeckung ist von der Stereopsis unabhängig. Fusionieren zwei Teilbilder, welche eine binokulare Verdeckung aufweisen, so wird in Grenzen das „Herumsehen“ um Objekte möglich. Besonders bei nah gelegenen Objekten tritt dieser Effekt auf, da aufgrund der unterschiedlichen Perspektiven um die Kanten des Objekts herum gesehen werden kann.

Diese Grundlagen, welche zum Verständnis des monokularen und binokularen Sehen benötigt werden, sind ein wichtiger Bestandteil zur Betrachtung der weiteren Arbeit. Nur mit den Richtwerten und dem Wissen über die Funktion des menschlichen Sehens ist es möglich, „regelkonforme“ 3D-Aufnahmen zu tätigen.

2.2 Stereoskopie in der Kinematographie

Im Hinblick auf den Aufbau von Kameras, mimen diese Geräte die Funktion der Augen nach. Dies wird beim nachvollziehen eines Strahlengangs anhand einer Kamera ersichtlich. Die vorliegende wissenschaftliche Arbeit verzichtet allerdings auf eine solche Auseinandersetzung mit der Thematik. Vielmehr soll sich dieses Kapitel mit der Wirkung und Wahrnehmung von Stereo-3D-Aufnahmen auseinandersetzen und erklären, auf welche Besonderheiten bei der Aufzeichnung von eben solchen geachtet werden muss. Da es sich in der Stereoskopie meist um die Aufzeichnung von zwei Kameras handelt, kann es zwischen den beiden Geräten zu Unterschieden kommen. „Die häufigsten Unterschiede finden sich in der Farbe, dem Kontrast, der Helligkeit und der Geometrie.“²³

Die Unterschiede zwischen den Kameras sollten in diesen Punkten nicht zu groß sein. Geringe Ungenauigkeiten werden vom Betrachter nicht registriert. Übersteigen die Unterschiede allerdings bestimmte Werte, so kommt es zur sogenannten „binokularen Rivalität“.²⁴ So sollten die Teilbilder keinen vertikalen Versatz von mehr als einem Prozent der Bildhöhe besitzen. Der Winkel zwischen den Teilbildern sollte den Wert $0,5^\circ$

²² vgl. Tauer 2010, S. 61

²³ Tauer 2010, S. 90

²⁴ vgl. Schmidt 2009, S. 29

nicht übersteigen. Besonders bei starken Helligkeitsunterschieden – zum Beispiel durch die Wahl der falschen Blende – zwischen beiden Kameras, kann das Betrachten der Bilder problematisch werden. Ein Unterschied von einer Blende kann in diesem Fall schon unangenehm wirken. Die Schärfeeinstellung sollte bei jedem Bild stets durchgeführt werden. Das Gehirn ist zwar in der Lage, bei unterschiedlich scharfen Teilbildern, diese bis zu einem bestimmten Maß zu fusionieren, da den Augen mehr Informationen zur Verfügung stehen, als bei monoskopischen Bildern. Wird allerdings ein besonderes Augenmerk auf den Nahbereich gelegt, so ist es aufgrund der physikalisch bedingten geringen Schärfentiefe von besonderer Wichtigkeit, zwischen den beiden Aufnahme-medien einen gemeinsamen Schärfepunkt zu fokussieren. Hieraus ergibt sich eine weitere wichtige Regel für die Aufzeichnung von stereoskopischen Bildmaterials: Die Schärfentiefe sollte möglichst groß gewählt werden. Unscharfe Bilder können allerdings auch in der Postproduktion in das Bildmaterial gelangen. So kann es durch falsche Kodierung zur Ausprägung von Blockartefakten kommen.²⁵ Eine Auseinandersetzung mit den verwendeten Dateiformaten, wird in dem Praxisteil der wissenschaftlichen Arbeit zu finden sein.

Der Einsatz der Stereoskopie soll den Betrachter noch mehr an den Ort des Geschehens bringen. Im Grunde lässt sich die Qualität von stereoskopischen Bildern in objektive und subjektive Qualität einteilen. Alle messbaren Bildfehler wie Bildstörungen durch Rauschen oder Blockbildung, die falsche Einstellung der Schärfe oder Belichtung, werden unter dem Begriff objektive Qualität zusammen gefasst. Über diese Aspekte des zweidimensionalen Bildes hinaus, zählen zur objektiven Qualität von Stereobildern unter anderem auch die Beurteilung der Präsenz von Geisterbildern. Bei der Beurteilung der Tiefenwirkung wird jeder Betrachter eine unterschiedliche Einschätzung geben. Deshalb werden die Begriffe Realismus, „Telepräsenz“ und Natürlichkeit in den Bereich subjektiver Qualitätsmerkmale eingeordnet.²⁶

Um diese subjektiven Qualitätsmerkmale und letzten Endes das „3D-Erlebnis“ möglichst lebhaft zu gestalten gilt es einige Regeln zu beachten, welche sich aus den physikalischen und psychologischen Gegebenheiten ergeben. Einige dieser Regeln wurden bereits in vorhergehenden Grundlagenkapiteln erwähnt, nachfolgend sollen diese Regularien zusammengefasst werden.

²⁵ vgl. Tauer 2010, S. 90ff

²⁶ vgl. Tauer 2010, S. 116f

2.2.1 Bildgestaltung in der Stereoskopie

Die Einstellungsgrößen bei monoskopischen Aufnahmen haben sich über viele Jahre entwickelt und mussten bei dem Betrachter erst nach und nach etabliert werden. Einstellungsgrößen existieren, da im Film nicht durchgängig das gesamte Bild gezeigt werden soll. Verschiedene Einstellungen machen nach dem Schnitt den Film erst interessant. Zudem führen unterschiedliche Einstellungen den Betrachter auf unterschiedlichste Weise durch den Film. Nähere Einstellungen wirken emotionaler und persönlicher, als Einstellungen von Kopf bis Fuß. Die gängigsten Einstellungsgrößen sind (in chronologischer Reihenfolge von fern bis nah) das Panorama, die Totale, die Halbtotale, die Halbnahe, die Nahe, die Große, sowie das Detail. Aufgrund der unterschiedlichen Abbildungsgrößen ergeben sich unterschiedliche Funktionen für diese Einstellungsgrößen. Prinzipiell gilt, je ferner eine Einstellung, desto mehr Informationen über die weite Umgebung sind im Bild zu sehen. Die Einstellung gibt dem Betrachter allerdings keine Informationen zu Emotionen oder der genauen Handlung einer Person. Diese Eigenschaften werden mit dem Panorama und der Totalen bedient, wobei die Totale den Handlungsraum des Protagonisten genauer eingrenzt. Die Panorama-Einstellung dient mehr der Markierung des Standorts des Geschehens in der Welt, zum Beispiel das Bild einer langen Straße mit vielen Häusern. Die Totale zeigt in diesem Fall ein bestimmtes Haus mit einem Menschen am Eingang, welcher versucht eine Tür aufzuschließen. Die Halbtotale, sowie die Halbnahe zeigen den Protagonisten von Kopf bis Fuß, bzw. von der Höhe des Beckens bis zum Kopf, wobei die Gestik vom Betrachter besser aufgenommen wird, als dies bei der Totalen möglich gewesen wäre. In diesen Einstellungen sind Gefühlsregungen noch nicht definitiv erkennbar. In der nahen Einstellung, welche den Bereich von Brust bis Kopf eingrenzt, sind Gefühlsregungen mäßig bis gut erkennbar. Die persönlichste und emotionalste Einstellung ist die Große, welche den Bereich vom Hals bis zur Stirn zeigt. Hierbei wird der Kopf „angeschnitten“. Das Detail zeigt einen sehr kleinen Bereich, in dem Falle zum Beispiel den Schlüssel, welcher in das Schloss gesteckt wird.²⁷

Verwendung von Einstellungsgrößen bei stereoskopischen Aufzeichnungen

Bei monoskopischen Aufnahmen sind diese Einstellungsgrößen ohne Einschränkung nutzbar. Wird bei monoskopischen Aufnahmen die Große gewählt, so wird bewusst die Stirn angeschnitten, da sonst der Kopf zu groß wirkt und die Augen der Person sich nicht mehr im goldenen Schnitt des Bildes befinden. Wird die Große bei einer stereo-

²⁷ vgl. Dunker 2012, S. 11ff

skopischen Aufnahme gewählt und entsprechend der Regel der monoskopischen Aufnahme eingerichtet, so wirkt das abgebildete Gesicht sehr unnatürlich, da der Betrachter keinen Bezug zur Größe des Gesichts hat. Auch wenn mit anderen Einstellungsgrößen Objekte angeschnitten werden, so kann der Betrachter dies als sehr störend empfinden, da dem Betrachter der Bezug zum Raum fehlt. Ein Beispiel ist ein Bild, welches eine Straße zeigt, an der links und rechts Lampen stehen. Schneidet die Kamera nun einen Lampenkopf an, so findet der Betrachter keinen Bezug zum Raum. Der Lampenkopf „schwebt“ also förmlich im Raum ohne Bezug zum Boden. Befindet sich ein Bildinhalt aufgrund der Parallaxe lediglich auf einem Teilbild, so kann es zu Geisterbildern kommen. Die Einstellung sollte also sorgfältig auf deren Bildinhalt untersucht werden, um schlecht definierte Tiefeninformationen zu vermeiden. Ein stereoskopisches Panorama kann unter bestimmten Umständen auch eine „3D-Wirkung“ zeigen. In den vorigen Kapiteln wurde beschrieben, dass ab einer Entfernung von mehr als 20 Metern eine wirkliche Feststellung der Tiefeninformationen kaum noch möglich ist. Die Sehachsen der Augen sind dabei fast parallel. Um ein Panorama wirkungsvoll einzufangen, kann der Kameramann dementsprechend nicht auf die Konvergenz zurückgreifen, da diese nur im Nahbereich sinnvoll eingesetzt werden kann. Aus diesen Grund wird die Stereobasis erweitert und größer als 65mm gewählt. Dies setzt natürlich ein flexibles Kamerasystem voraus, welches allerdings bei dem 3D-Kamerakomplex nicht der Fall ist.

Perspektiven

Im Hinblick auf die Perspektiven existieren drei gängige Perspektiven als Mittel zur Bildgestaltung: eine aufsichtige und eine untersichtige Perspektive, sowie eine Perspektive auf Augenhöhe. Auch die Perspektiven haben eine unterschiedlichen Aussagewert zur Bewertung einer gefilmten Situation. Schaut der Betrachter aufsichtig auf die Szenerie, so hat er einen erhabenen Blick. Die dargestellte Person im Bild wirkt klein und verletzlich, wobei schon ein geringfügiger größerer Winkel diese Wirkung erzielt. Eine Darstellung auf Augenhöhe wirkt neutral und uneingenommen. Eine untersichtige Perspektive lässt die dargestellte Person mächtig und erhaben darstellen. Der Zuschauer blickt gewissermaßen zu der Person auf und bekommt so das Gefühl, benachteiligt zu sein. Alle drei Perspektiven lassen sich ohne Einschränkung bei stereoskopischen Aufnahmen nutzen. Es sollte jedoch auf zu extreme Perspektiven verzichtet werden. Ein Beispiel dafür ist die Darstellung eines Panoramas gefilmt aus

großer Höhe mit Blick auf eine Stadt mit hohen Häusern. Wird die Perspektive stark aufsichtig, so wirkt das Bild modellhaft, ähnlich dem einer „Modelleisenbahn“.²⁸

Schärfentiefe

Die Schärfentiefe lässt sich mit den Faktoren Brennweite, der Blendenöffnung und der Entfernung zum Objekt beeinflusst werden. Die Faktoren beeinflussen sich auch gegenseitig. Bei einer langen Brennweite wird der Schärfebereich gestaucht, das heißt in diesem Fall ist die Schärfentiefe gering. Bei kurzer Brennweite wird der Schärfebereich gedehnt. Je größer die Blendenöffnung, desto geringer wird die Schärfentiefe ausfallen. Je weiter entfernt ein Objekt fokussiert wird, desto größer ist die Schärfentiefe. Ein weiterer Faktor, welcher die Schärfentiefe beeinflusst, ist die Sensorgröße. Je größer ein Sensor bzw. je höher die Pixelanzahl, desto geringer die Schärfentiefe.²⁹ Durch die Schärfentiefe definiert sich maßgeblich die Bildästhetik und Bildkomposition. Bei stereoskopischen Aufnahmen sollte mit einer großen Schärfentiefe gearbeitet werden, damit das Auge bewusst die Tiefenstaffelung in den Bildern gezeigt bekommt.

Zoom- und Schärfefahrten

Das „zoomen“ bezeichnet den Vorgang der Änderung der Brennweite am Objektiv. Eine Änderung der Brennweite hat meist eine andere Einstellungsgröße zur Folge. Zudem ändert sich durch die optischen Eigenschaften der Optiken der Bildwinkel. Bei Filmen werden Zoomfahrten prinzipiell sehr selten eingesetzt, nicht zuletzt da dieser Vorgang unnatürlich ist. Bei stereoskopischen Aufnahmen sollte gänzlich auf den Zoom verzichtet werden, es sei denn die Optiken sind mittels eines Servos gekoppelt, damit die Brennweite an beiden Optiken gleichermaßen eingestellt wird. Mit dem Zoom muss ebenfalls die Konvergenz oder die Stereobasis nachkorrigiert werden. Da dies fast unmöglich während der Aufnahme geschehen kann, ist von Zoomfahrten abzuraten. Durch Zoomfahrten können Größendifferenzen zwischen den Teilbildern entstehen, die zu binokularer Rivalität führen könnten. Alles in allem werden beim Film – egal ob 3D oder nicht – vorzugsweise baugleiche Festbrennweiten genutzt. Sämtliche andere Fahrten, welche der Bildgestaltung dienen, sind uneingeschränkt möglich. Eine Schärfefahrt lenkt den Blick des Betrachters auf eine andere wichtige Sache im Bild. Sie wird begünstigt durch eine geringe Schärfentiefe und hat sich als Stilmittel fest etabliert. Bei der Aufzeichnung von stereoskopischen Bildmaterial sollten möglichst

²⁸ vgl. Tauer 2010, S. 106f

²⁹ vgl. Tauer 2010, S. 316

viele Tiefeninformationen generiert werden. Da bei stereoskopischen Aufnahmen meist mit großer Schärfentiefe gearbeitet wird, ist es schwierig eine Schärfeverlagerung durchzuführen. Um eine gleichmäßige Verlagerung zu realisieren benötigt man zudem Servos, welche beide Optiken gleichermaßen einstellen, damit der Schärfepunkt in beiden Fällen gleich fährt. Bei hochwertigen Optiken kann dazu auch die Entfernungsskala am Objektiv verwendet werden. Dementsprechend ist das Stilmittel aus der monoskopischen Aufnahme nicht in vollem Maße bei stereoskopischen Aufnahmen einsetzbar. Es ist möglich, allerdings geht durch einen in der Schärfe verlorenen (verschwommenen) Hintergrund ein gewisser Anteil der Tiefenstaffelung verloren, falls die Schärfentiefe zu gering ausfällt.

2.2.2 Bestimmung von Brennweite, Abstand und Stereobasis

Zur Ausrichtung der Kameras haben sich drei Faustregeln herausgebildet, welche die Festlegung der Parameter Mindestabstand, Entfernung zum Objekt und Stereobasis beschreiben.

- 1) Zur Feststellung der Stereobasis gilt folgende Formel:

$$\text{Stereobasis } b \text{ [cm]} = \frac{\text{Abstand zum Nahpunkt } a \text{ [cm]}}{\text{Brennweite } f \text{ [mm]}}$$

Die Stereobasis b sollte dabei nicht größer sein als $\frac{1}{30}$ des Nahpunktes bzw. des Mindestabstandes a .

- 2) Zur Feststellung der Mindestabstandes gilt folgende Formel:

$$\text{Mindestabstand } a \text{ [cm]} = \text{Stereobasis } b \text{ [cm]} \cdot \text{Brennweite } f \text{ [mm]}$$

Sie greift, wenn die Basis und die Brennweite nicht veränderbar ist, wie dies auch bei dem Kamerakomplex der Fall ist.

- 3) Zur Feststellung der Brennweite gilt folgende Formel:

$$\text{Brennweite } f \text{ [mm]} = \frac{\text{Abstand zum Nahpunkt } a \text{ [cm]}}{\text{Stereobasis } b \text{ [cm]}}$$

Alle Faustregeln haben sich in der Zeit der Stereofotografie entwickelt und beziehen sich auf das Kleinbildformat. Bei dem Kamerakomplex kommen Sensoren des Formats 1/2,5 Zoll zum Einsatz. Durch die Begrenzung des Range of Interest (folgend „ROI“ genannt) kann man davon ausgehen, dass die Maximaldisparitäten bei 0,25mm

(bei 1/2“) bis 0,3mm (bei 1/2,5“) befinden, je nachdem welche Bereiche des ROI gecropt werden.³⁰ Die Maximaldisparitäten sind festgelegt auf drei bis maximal vier Prozent der Sensorbreite.³¹ Da die Rechenprozesse in diesem Falle nicht mehr mit den Faustregeln genau gelöst werden können, ist es sinnvoll auf Hilfsmittel zur Festlegung der Parameter zurückzugreifen. Als Android-Applikation, sowie als Software für Windows nutzt der Verfasser dazu das Programm „Stereo Base Calculator“, welches bei den Tests auch zum Einsatz kam.

Michel Benoit gibt eine ähnliche Berechnungsformel an, welche sich zudem auf das Wiedergabemedium bezieht. In seiner Berechnung spiegeln sich die maximal möglichen Parallaxen des Wiedergabemediums wieder, wodurch eine genauere Feststellung der Maximal- und Minimalwerte möglich wird. Da das Wiedergabemedium im Falle des Stereo-3D-Komplex noch nicht konkret definiert ist, spielt dies in der Arbeit weniger eine Rolle. Dennoch sollte bei der Aufnahme auf genügend Toleranz geachtet werden.³²

Die Berechnung der Kameraausrichtung stellt einen wichtigen Bestandteil der Arbeit mit dem Gerät dar. Es bietet sich an, die Mindestabstände im Voraus zu berechnen, damit später keine Probleme aufgrund von binokularer Rivalität auftreten. Die Berechnung ist nie zu 100 Prozent korrekt und auf die Praxis übertragbar, dennoch gibt es dem Nutzer einen Richtwert für die Arbeit mit dem Gerät.

2.2.3 Justierung und Ausrichtung der Kameras

Jegliche Justierung bzw. Kalibrierung sollte der Einfachheit halber in der Normalstellung durchgeführt werden. Das bedeutet, der Komplex befindet sich in Waage auf gleicher Höhe mit einer Testtafel. Die Kameras sollten nicht konvergieren, da dies zu Trapezverzerrungen zwischen den Teilbildern führt. Wenn aufgrund der Beschaffenheit des Rigs die Möglichkeit besteht, die Basis zu verändern, sollten die Kameras deckungsgleich übereinander liegen. Dies ist bei Spiegelrigs möglich. Am Beispiel des Kamerakomplex ist dies nicht möglich, da die Stereobasis hierbei baubedingt bei den festgelegten 65mm liegt. Die Testtafeln sollten ein Mittenkreuz und ein Strichgitter besitzen, damit die Geometrie der Geräte exakt kalibriert werden kann.³³ Auch ein Graukeil sollte sich mit auf der Testtafel befinden, um einen Weißabgleich durchführen

³⁰ vgl. Tauer 2010, S. 335ff

³¹ vgl. Michel 2013, S. 62

³² vgl. Michel 2013, S. 91

³³ vgl. Michel 2013, S. 98

zu können. Es ist sinnvoll diese Testtafeln immer mit aufzuzeichnen, so kann in der Postproduktion das Material nachkorrigiert werden. Um den Komplex exakt zu positionieren, bietet es sich an, eine Laserwasserwaage zu benutzen, welche die Blickrichtung der Objektive darstellt. Die Verschiebung aufgrund der Stereobasis sollte sich in den Teilbildern wiederfinden. Zudem lässt sich ein eventueller Roll oder eine horizontale Verkipfung der Kameras zueinander erkennen und ausbessern. Die Software zur Steuerung der Kameras am Kamerakomplex erlaubt eine Einstellung des ROI, dieser kann auch mittels der Testchart analysiert und für das Kamerapaar kalibriert werden.³⁴

Ausrichtung der Stereo-3D-Kamera

Es haben sich drei Methoden zur Ausrichtung etabliert. Zum einen ist es möglich, die Kameras parallel auszurichten und die Stereobasis zu verringern oder erhöhen. Für die Postproduktion ist dies die beste Methode, da durch die fehlende Konvergenz keinerlei geometrische Trapezverzerrungen auftreten. Die Basis muss stetig nachgeführt werden, damit dies auf den Nah- und Fernpunkt angepasst werden. Die zweite und dritte Methode nutzt die Konvergenz, um die Kamera auszurichten. Dabei unterscheiden sich die Methoden in der Konvergenz auf den Fernpunkt oder die Konvergenz auf ein nahes Objekt. Bei der Fernpunkt Konvergenz ist der Konvergenzwinkel nicht so groß, wie dies bei der Objektkonvergenz der Fall ist. Das hat den Vorteil, dass sich die Tiefenstaffelung sanfter in das Bild einfügt. Bei der Objektkonvergenz wird die Plastizität des Objektes hervorgehoben, allerdings kann es in den fernen Bereichen zu einem extremen Konvergenzwinkel und Fehlbildern kommen.³⁵ Bei dem zweiten Prototyp des Kamerakomplex lässt sich die Konvergenz nicht korrekt nach Gradmaß einstellen, sondern eher sporadisch um wenige Grad. Die Einstellung der Konvergenz sollte hierbei mit äußerster Vorsicht vorgenommen werden, da durch das loseschrauben des Objektivmounts der Winkel zum Sensor verändert wird und es somit in den Randbereichen des Bildes zu einer Vignettierung kommen kann.

Die erste Methode ist am Kamerakomplex nicht durchführbar, da die Stereobasis fest bei 65mm liegt. Dementsprechend muss in der Postproduktion damit gerechnet werden, dass es durchaus zur Ausbildung des Kulisseneffektes kommt, bzw. durch die Konvergenzeinstellung zu Trapezverzerrungen, welche mittels der Korrektursoftware ausgebessert werden sollte. Ein Kulisseneffekt tritt auf, wenn die Stereobasis bei lan-

³⁴ vgl. Tauer 2010, S. 339ff

³⁵ vgl. Tauer 2010, S. 344

ger Brennweite nicht gleichermaßen erweitert wurde. So werden Objekte im Bild wie „Pappaufsteller“ wahrgenommen, da den fokussierten Objekten die nötige Tiefe fehlt.³⁶

Neben der Stereobasis und der Konvergenz existieren zwei weitere wichtige Punkte zur Bildgestaltung, welche bereits aus monoskopischen Aufzeichnungen bekannt sind. Die Brennweite definiert den Bildausschnitt und die Bildkomposition maßgebend. Eine kurze Brennweite sorgt für eine räumlichere Darstellung der Szenerie, als dies bei einer langen Brennweite der Fall wäre. Zudem werden weitwinklige Aufnahmen als natürlich empfunden, da diese Bildabdeckung dem Gesichtsfeld des Menschen entspricht. Ein Vorteil bei der Verwendung von weitwinkligen Optiken in stereoskopischen Aufnahmen, ist die Tatsache, dass geometrische Fehler dem Betrachter nicht so stark auffallen, wie dies bei einer langen Brennweite der Fall wäre. Der große Nachteil bei der Verwendung einer weitwinkligen Optik liegt in der Tiefe in einer Entfernung von mehr als 15 Metern. Bei einer Normalbasis von 65mm werden entfernte Objekte dann monoskopisch gesehen. Bei dem Kamerakomplex kommen 10 weitwinklige Objektive zum Einsatz. Die Tests werden zeigen, welche Grenzen das Gerät aufweist.³⁷

Die vierte Möglichkeit zur Bildgestaltung spielte schon bei der vorherigen Betrachtung oft eine Rolle. Es handelt sich dabei um die Distanz zum Nah- und Fernpunkt. Diese vier Möglichkeiten können natürlich auch nie einzeln betrachtet werden, da sie sich gegenseitig beeinflussen. Die Distanz spielt im Zusammenhang mit stereoskopischen Aufnahmen eine besondere Rolle. Wird ein Objekt vor dem zulässigen Nahpunkt positioniert, so kann das Betrachten des Bildes anstrengend werden. Im Unterschied zum natürlichen Sehen kann bei künstlichen Aufnahmen diese Disparität vom Gehirn nicht unterdrückt werden, wobei es zur binokularen Rivalität kommt. Sollte der Fall eintreten, dass ein Objekt lediglich auf einer Kamera sichtbar abgebildet wird, so kann es ja nach Helligkeit und Kontrast des Objektes zu Geisterbildern kommen. Das Bild sollte deshalb immer auf dementsprechende Bildfehler untersucht werden. Dies sorgt in der Postproduktion für einen geringeren Aufwand. Im Gegensatz zum Nahpunkt markiert der Fernpunkt den Abstand von der Kamera, ab dem durch die Stereoskopie keine ausreichenden Tiefenhinweise generiert werden können, da sich die Punkte zu weit entfernt befinden. Bei einem Konvergenzwinkel von 0° gibt der Fernpunkt den Punkt des monoskopischen Sehens an. Die Werte lassen sich mittels der Software und Applikation „Stereo Base Calculator“ berechnen.³⁸

³⁶ vgl. Tauer 2010, S. 105

³⁷ vgl. Tauer 2010, S. 357f

³⁸ vgl. Tauer 2010, S. 360f

Synchronisation der Kameras

Anders als bei der Aufzeichnung monoskopischen Bildmaterials ist es bei S3D-Aufnahmen von sehr großem Vorteil, die Kameras zu Synchronisieren. Je nach Verwendung kann dies mit einem Taktgenerator oder nach dem Master/Slave-Prinzip funktionieren. Im Consumer-Bereich ist eine Synchronisation meist nicht möglich, da die Aufzeichnung von stereoskopischen Materials in diesem Stile den Funktionsumfang übersteigt. Sämtliche Kameras lassen sich natürlich auch mittels Klappe in der Postproduktion annähernd synchron „zurecht schieben“, allerdings kann es durch diese Art der Synchronisierung zu einem Versatz zwischen den Bildern von wenigen Millisekunden kommen, da das Material nur framegenau verschoben werden kann. Besonders bei einer Bewegung ist dies ein Problem, da beide Kameras in unterschiedlichen Augenblicken den Bewegungsabschnitt aufzeichnen. Aus diesem Grund lassen sich professionelle und Prosumer-Kameras durch verschiedene Ansätze miteinander synchronisieren. Mittels Genlock lassen sich die Schwingquarze der Geräte nach dem Master/Slave-Prinzip miteinander auf einen gleichen Takt bringen. Dieser Vorgang ist für einen längeren Zeitraum beständig, läuft allerdings mit der Zeit auseinander. Aus diesem Grund kann in professionellen Geräten der Timecode überspielt werden, so dass jede angeschlossene Kamera dasselbe Bild abbildet. Bei dem Kamerakomplex bietet es sich also an, mittels Klappentest die Synchronität festzustellen.

2.2.4 Stereofenster

Ein S3D-Bildes besitzt immer einen Rahmen durch die Art des Wiedergabemediums. Dies kann eine Kinoleinwand, ein Monitor oder – wie im Forschungsprojekt – ein Projektionscontainer sein. Alle Medien haben einen Rahmen und außerhalb dieses Bereichs können keine stereoskopischen Bilder wiedergegeben werden. Wird nun bedingt durch die Aufnahme ein prägnantes Objekt so positioniert, dass es eine negative Disparität aufweist, also virtuell aus dem Wiedergabemedium heraustritt, so sollte zwingend auf diese Ränder geachtet werden. Wird dieses Objekt angeschnitten, so wirkt dies für den Betrachter unnatürlich, da es keinen Sinn macht, dass ein Objekt vor der Bildebene beschnitten wird. Für den Fall dass solche Objekte vor der Bildebene die Ränder schneiden, kann in der Postproduktion mittels eines Schwebefensters dies ausgebessert werden. Damit wird der Rahmen virtuell verschoben, wodurch beide Kameras die gleichen Ränder zeigen. Diese Arbeit nimmt wiederum Zeit in Anspruch.³⁹

³⁹ vgl. Michel 2013, S. 64–65

Der Effekt tritt bei einfachen Strukturen nicht so gravierend auf, dennoch sollte versucht werden, prägnante Objekte nicht in den Randbereichen zu positionieren. Objekte, die innerhalb des Stereofensters angeschnitten werden, werden entsprechend natürlicher empfunden, da dies bereits von monoskopischen Aufnahmen bekannt ist. Dennoch sollten die Randbereiche nicht zu hohe Kontraste aufweisen, da sich an diesen Stellen Geisterbilder ausbilden können.⁴⁰

2.2.5 Tiefenumfang und Tiefenspielraum

„Der Tiefenspielraum ist die maximal mögliche Tiefenausdehnung eines Stereo-3D-Systems. Sowohl Kameras, 3D-Kinos als auch Postproduktionsarbeitsplätze haben jeweils einen bestimmten Tiefenspielraum. Er bildet die Grenzen für den Bereich, der aufgenommen oder wiedergegeben werden kann.“⁴¹ Daraus folgt, dass jedes Aufnahme- und Wiedergabesystem einen unterschiedlichen Tiefenspielraum besitzt, in dem Bilder ohne Störungen dargestellt werden können. Dieser Spielraum wird in Pixeln angegeben und ergibt sich aus den maximal möglichen Disparitäten. Bereits während der Produktion muss auf diese bestimmenden Werte geachtet werden. Der Tiefenumfang hingegen steht für die gesamte Tiefe, die ein Bild zwischen dem Nah- und Fernpunkt erzeugen kann. Ziel der Arbeit in Stereo-3D ist es, diese beiden Größen in Einklang zu bringen. Zum besseren Verständnis dieses Sachverhaltes soll Abbildung 3 helfen. In dieser schematischen Zeichnung soll verdeutlicht werden, wie Tiefenspielraum und Tiefenumfang kombiniert werden können.⁴²

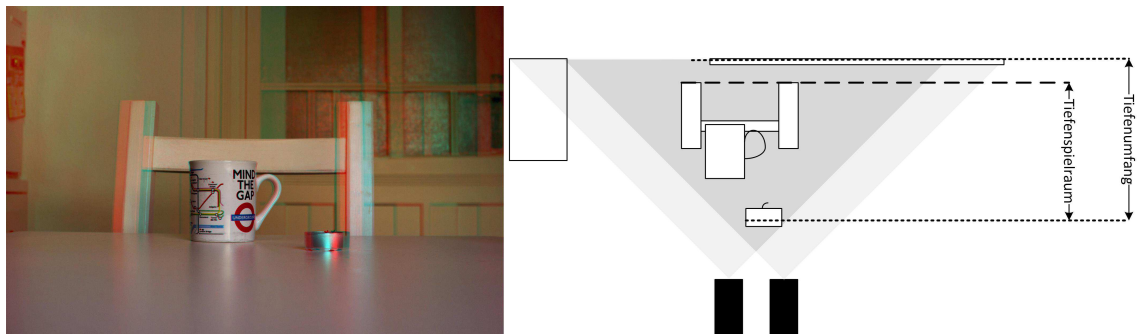


Abbildung 3: Darstellung Tiefenumfang und Tiefenspielraum

⁴⁰ vgl. Tauer 2010, S. 370f

⁴¹ Tauer 2010, S. 372

⁴² für vergrößerte Darstellung von Abbildung 3: siehe Anlagen 1 – Stereobilder

Auf diesem Stereobild ist der Tiefenumfang zu groß. Er übersteigt den Tiefenspielraum des Systems, wodurch es im Bereich der Tür zu Fusionsproblemen und binokularer Disparität kommt. Das Teelicht befindet sich unmittelbar an der Nahgrenze. Der Stuhl befindet sich unmittelbar am Fernpunkt, wobei die Lehne teilweise für Fusionsprobleme sorgt, da sie sich fast außerhalb des Tiefenspielraums befindet. Die Lösung des Problems wäre eine Verkleinerung der Stereobasis oder eine Veränderung des Abstands zum ersten Objekt. Das Bild wurde außerdem mit einer leichten Konvergenz aufgenommen. Werden diese Veränderungen vorgenommen, so erweitert sich der Tiefenspielraum auf die Höhe des Tiefenumfangs. Dadurch nimmt allerdings die Räumlichkeit ab, da der Tiefenspielraum des Systems nicht vollständig ausgenutzt wurde. Dies kann dazu führen, dass das Bild zu flach erscheint.

Ein anderer Fall tritt auf, wenn der Tiefenumfang der Szenerie, die aufgezeichnet werden soll zu gering ist und das Aufnahmesystem einen zu großen Tiefenspielraum hat. Dieser Fall tritt häufig dann auf, wenn der Nahpunkt des Aufnahmesystems weit vor dem gesetzten Nahpunkt der Szenerie liegt. Durch eine Änderung des Abstandes, einer breiteren Stereobasis oder einer längeren Brennweite kann dieses Problem behoben werden. Besonders bei Panoramaaufnahmen mit geringer Stereobasis wird dies deutlich. Es gilt also, den Tiefenspielraum des Systems optimal zu nutzen, damit der Betrachter einen guten räumlichen Eindruck erhält. Auch hierbei können die errechneten Werte des „Stereo Base Calculator“ helfen.⁴³

2.3 Panorama und 3D

Es gibt einige Forschungen, welche zum Thema stereoskopischer Panorama-Aufnahmen geführt wurden. Dennoch stammen aktuelle Entwicklungen eher aus dem Bereich des monoskopischen „Panorama-Capturing“. Unter anderem entwickelte das „Fraunhofer Institut“ eine Kamera, welche ein 360° Bild in 4K aufzeichnen kann.⁴⁴ Das entstehende Bild setzte sich aus zehn Teilbildern zusammen, welche von einem Spiegelsystem mit Hilfe von zehn Kameras aufgezeichnet wird. So entsteht ein Bild mit den Dimensionen von 10.000 Pixeln in der Breite und 2.000 Pixeln in der Höhe. Der Vorteil an diesem System liegt in der Möglichkeit ein 360°-Bild zu erstellen, welches keinen Bildversatz aufweist und einfach zu „stitchen“ ist. Der Kamerakomplex wurde beim Fi-

⁴³ vgl. Tauer 2010, S. 372ff

⁴⁴ <http://www.hhi.fraunhofer.de/fields-of-competence/image-processing/solutions/capture/panoramic-uhd-video.html> [16.12.2014, 11:20 Uhr]

nale der Fußball-Weltmeisterschaft erfolgreich getestet. Das Bildmaterial wird in einem 360°-Kinosaal wiedergegeben.

Ein Panoramabild soll meistens mehr als das Blickfeld von 180° abbilden können. Da dies mit normalen Objektiven physikalisch nicht möglich ist, setzt sich ein Panorama immer aus mehreren Teilbildern zusammen. Es gibt drei übliche Arten der Darstellung dieser Teilbilder. Ein Panorama lässt sich auf einer eben Fläche, in einem Zylinder oder in einer Kugel abbilden.⁴⁵ Die Darstellung des Panoramas in einer Kugel ist dabei eine sehr realitätsnahe Darstellung, da das Bild keine Kanten aufweist. Aufgrund des Aufnahmemediums, welches immerzu ebene Bilder aufnimmt, müssen die Teilbilder virtuell verzerrt werden. Welche Abbildungsart für die Panorama-3D-Kamera sinnvoll ist, werden die Tests in den späteren Kapiteln zeigen.

Aus den Abhandlungen zu Panoramen lässt sich bereits erkennen, dass zwischen den Teilbildern ein fließender Übergang vorhanden sein muss. Übereinandergelegte Kanten wirken sich negativ auf das Seherlebnis aus. Aus diesem Grunde ist es wichtig, dass in den Testläufen ein Weg gefunden wird, das Bildmaterial so aufzuzeichnen, dass das Ergebnis ohne Übergänge anzuschauen ist. Die besondere Herausforderung liegt dabei auch bei der Stereoskopie, da beide Teilbilder exakt aufeinander abgestimmt werden müssen. Im Hinblick auf die Tests der Stufe eins ist eine äußerst präzise Kalibrierung der Kamera mit Hilfe der Software nötig. Hierbei spielen besonders die Randbereiche eine große Rolle.

⁴⁵ vgl. Peleg et al. 2001, S. 279

3 Testreihenplanung

Die Testreihen sind in drei Stufen geplant. Zunächst werden Aufnahmen unter Studiobedingungen mit statischer Umgebung durchgeführt. In Stufe zwei folgen Tests unter Studiobedingungen bei leicht bewegten Objekten im Bild. Stufe drei umfasst Tests unter Realbedingungen im Freien. Die unterschiedlichen Stufen beinhalten unterschiedliche Zielsetzungen.

Der erste Test soll der Kalibrierung der Kamera dienen. Dazu kommt ein im Rahmen dieser Arbeit entwickeltes Testbild zum Einsatz. Dieses wird auf deren Praktikabilität getestet. Ebenso soll mit Hilfe der Software zu dem Kamerakomplex ein sogenanntes „User Preset“ entstehen, welche die Kamera unter Studiobedingungen so kalibriert, dass in der Postproduktion nur noch wenige Arbeitsschritte zur Korrektur durchgeführt werden müssen. Zunächst soll in Vorarbeit für diese Aufzeichnung eine geeignete Anordnung der Streams im VLC-Player realisiert werden. Für die weitere Verarbeitung des Bildmaterials spielen insbesondere die Überlappungen der Bilder eine große Rolle. Ferner soll eine Möglichkeit gefunden werden, das Panorama stereoskopisch darzustellen. Das heißt, beide Teilbilder sollten möglichst ohne Überlappungen darstellbar sein, da sonst beim „stitchen“ der Bilder Kanten entstehen. Zudem soll die Kamera in den Minimal- und Maximalabständen getestet werden, welche durch Berechnung bzw. mittels Applikation errechnet wurden. Somit stellt die Stufe eins die Basis für die Arbeit mit dem Kamerakomplex dar.

Im zweiten Test soll das Verhalten bei Bewegung besonders in den Randbereichen der einzelnen Kameras untersucht werden. Die Ergebnisse dieser Teststufe geben Aufschluss darüber, auf welche Bereiche im Bild besonders geachtet werden muss. Hierbei spielen zudem Bewegungen in den Grenzwerten eine Rolle.

Im dritten Test sollen die eigentlichen Aufnahmen durchgeführt werden, wobei sich die Richtwerte für die Durchführung aus den Stufen eins und zwei ergeben. Die Zielsetzung des Tests ist die Erstellung von verwertbaren Panorama-3D-Material. Das Material soll anschließend gesichtet und in der Postproduktion für eine Wiedergabe bearbeitet werden.

3.1 Vorbetrachtungen zu den Testläufen

Alle beschriebenen Tests setzen voraus, dass das Gerät in einem vollständigen Zustand und funktionsfähigen Zustand sind. Dazu müssen sämtliche Optiken, sowie die Stromversorgung des Gerätes vorhanden sein. In Vorbereitung auf den Testlauf, welcher am 15.12.2014 stattfinden sollte, stellten sich allerdings einige Defizite ein, wo-

durch der Test verschoben werden musste. Die Optiken waren bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht vorhanden, zudem konnte keine Stromversorgung (10A Stromstärke bei 5V Betriebsspannung) hergestellt werden, da ein Netzteil seitens des Herstellers „Kappa“ nicht beigelegt war. So musste mit Hilfe eines Computernetzteils die Stromversorgung realisiert werden.



Abbildung 4: Computernetzteil zur Speisung des Kamerakomplex

Die Verbindung mit den Kameras und das Auslesen der Daten war vorerst nicht möglich. Alle zehn Kameras besitzen unterschiedliche MAC-Adressen und agieren in einem Ethernet-Netzwerk. Laut dem OSI-Referenzmodell handelt es sich in diesem Fall um die zweite Schicht, dem sogenannten „data link“. Sämtliche Kameras werden via LAN-Kabel über zwei Switches gebündelt. Die Switches vergeben die IP-Adressen für die jeweiligen MAC-Adressen. Die Switches agieren in Schicht drei, dem „network“. Der Versuch mittels Command-Befehl „arp -a“ über die MAC-Adressen auf die IP-Adressen zu schließen schlug fehl, da keine der Kameras, aufgrund von fehlenden Netzwerkaktivitäten, registrierbar war. Ebenfalls misslang der Versuch, mittels DHCP-Server auf die IP-Adressen zu schließen. Der DHCP-Server vergibt unter anderem in einem Netzwerk IP-Adressen. Zudem konnten die Kameras weder via USB, noch über direkten Anschluss der Ethernet-Schnittstelle ausgelesen werden.

Nach einem klärenden Gespräch mit der Herstellerfirma konnten die Fehler beseitigt werden. Die IP-Adressen wurden zum einen über die Software „Wireshark“ erkannt, welche alle Netzwerkaktivitäten protokolliert. Dabei bestätigte sich die Aussage des Ingenieurs. Sämtliche Kameras registrieren sich beim booten mit einer festen IP-Adresse im Netzwerk. So konnten die MAC-Adressen den zugehörigen IP-Adressen

zugeordnet werden. Der Ingenieur der Firma „Kappa“ übersendete im gleichen Zuge eine aktuellere Kamerasteuerungs-Software. Er bestätigte uns auch, dass die USB-Anbindung mit der aktuellen Firmware der Kameras nicht unterstützt wird und der Komplex folglich keine Möglichkeit hat, die Bilder in Echtzeit wiederzugeben. Die Kameras geben einen H.264-kodierten Stream über Ethernet aus. Die Optiken wurden ebenfalls am 18.12.2014 nachgereicht.

3.1.1 Abruf der Streamingdaten

Alle Arbeiten an der Kamera sollten mit einem „Sucherbild“ durchgeführt werden. Da die Anbindung mittels USB in der aktuellen Softwareversion nicht implementiert ist und somit keine Echtzeitwiedergabe der Daten möglich ist, wurden die Möglichkeiten des Streamings genutzt. Die Adresse zum abrufen dieses Streams lautet wie folgt:

`rtsp://KAMERA-IP:8557/PSIA/Streaming/channels/2?videoCodecType=H.264`

Allerdings sollte die hohe Latenz beim Streaming beachtet werden. Diese liegt bei etwa zwei Sekunden und macht Einstellungen der Schärfe, die korrekte Blendenwahl und Farbeinstellungen sehr anspruchsvoll bis unmöglich. Die Streaming-Adresse wird in einem „VLC-Player“ unter „Medien > Netzwerkstream öffnen...“ in die Adresszeile eingegeben. Der Eintrag „KAMERA-IP“ muss von einer IP-Adresse der jeweiligen Kamera ersetzt. Sämtlich Kameras werden von der Software „MDCCControl Version 1.2.1.14062“ im Netzwerk gesucht und anschließend mit MAC-Adresse und Seriennummer angezeigt. Bei Auswahl der einzelnen Geräte lassen sich die Kameradaten auslesen. Die IP-Adresse wird dann in die Streaming-Adresse übertragen. Bei der Wiedergabe des Streams mittels „VLC-Player“ sollte nun ein Bewegtbild mit etwa zwei Sekunden Latenz angezeigt werden. Die festen IP-Adressen zu den jeweiligen Kameras sind im Folgenden aufgeführt.

Tabelle 1: Kameradaten zu MAC-Adressierung, Seriennummer und IP

#	Kamera	Teilbild	MAC-Adresse	Serien-Nr.	IP
1	UP	L	MAC:00:0B:1E:00:04:92	3D0019	169.254.4.50
2	UP	R	MAC:00:0B:1E:00:04:8D	3D0014	169.254.4.25
3	FRONT	L	MAC:00:0B:1E:00:04:8E	3D0015	169.254.4.30
4	FRONT	R	MAC:00:0B:1E:00:04:91	3D0018	169.254.4.45
5	LEFT	L	MAC:00:0B:1E:00:04:90	3D0017	169.254.4.40
6	LEFT	R	MAC:00:01:0B:00:00:E0	3D0020	169.254.5.120
7	RIGHT	L	MAC:00:0B:1E:00:04:8F	3D0016	169.254.4.35
8	RIGHT	R	MAC:00:0B:1E:00:04:8C	3D0013	169.254.4.20

9	DOWN	L	MAC:00:0B:1E:00:04:8B	3D0012	169.254.4.15
10	DOWN	R	MAC:00:0B:1E:00:04:8A	3D0011	169.254.4.10

Dabei ist darauf zu achten, dass Kamera 6 mit der Bezeichnung „LEFT R“ eine abweichende IP-Adresse besitzt. Diese Kamera kann zudem per „MDC“ nicht angesteuert werden, da dies ein anderes Kameramodell ist. Für den Fall, dass zwei Streams parallel dargestellt werden sollen, sollten zwei Instanzen des VLC-Players geöffnet werden. Dazu wird der VLC-Player bei gedrückter Umschalt-Taste zweimal geöffnet.

3.1.2 Kamerakalibrierung mit Hilfe der MDC-Software

Die von „Kappa“ nachgelieferte MDC-Software (Version 1.2.1.14062) wurde speziell für die Kameras konzipiert, welche in dem vorliegenden Prototyp zum Einsatz kommen. Über die grafische Oberfläche lassen sich viele Einstellungen der Kameras beeinflussen, allerdings nicht standardisieren. Das bedeutet, dass die Kameras immer im Werkszustand booten. Diese Einstellungen lassen sich nicht beeinflussen.

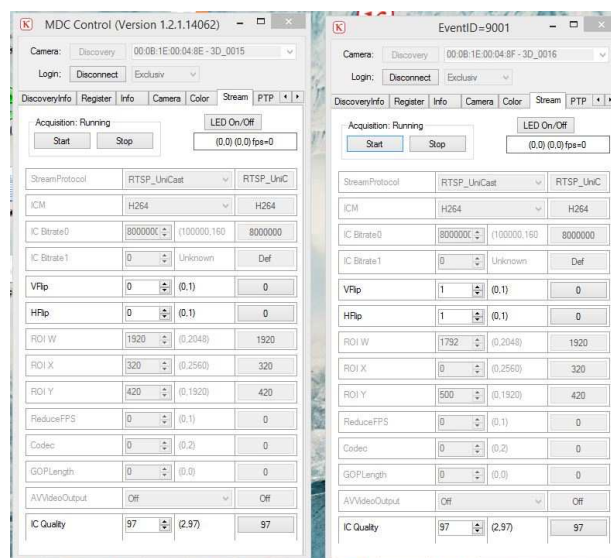


Abbildung 5: Screenshot der Kamerasoftware

So müssen bei jedem Neustart die Kameras neu eingestellt werden. Die Kamera speichert weder ROI-Einstellungen, noch Farb- oder Gainkorrekturen. Dabei booten die Kameras mit einem automatisierten Gain-Modus. Die Farben lassen sich in mehreren Stufen verändern. Allerdings sind die Sprünge in der Abhebung bzw. Absenkung der einzelnen Farbkanäle zu groß, wodurch sich keine dezenten Änderungen vornehmen lässt. Um auf die Kameraeinstellungen zugreifen zu können, wird nach einem Klick auf „Discovery“ über das Dropdownmenü eine Kamera ausgewählt und im Anschluss da-

ran verbunden. Unter dem Reiter „Camera“ lassen sich Einstellungen zur Sättigung, Helligkeit und Gain ausführen. Der Reiter „Color“ beinhaltet Einstellungen zu den einzelnen Anhebung und Absenkung der Farbkanäle. Im Reiter „Stream“ lassen sich die Einstellungen zum Bildausschnitt ausführen. Diese sind in der vorliegenden Abbildung 6 ausgegraut. Um diese Einstellungen zu bearbeiten muss der Stream gestoppt werden. Damit bricht auch die Verbindung zu VLC ab. Erst dann können die Einstellungen zu ROI durchgeführt werden. Es können auch mehrere Instanzen des Programms geöffnet werden, damit ein Zugriff auf die Kamera Paare erfolgen kann. Dies bietet sich an, da die baugleichen Paare möglichst auch die gleichen Einstellungen besitzen sollten.

Die Unterbrechung des Streams zur Einstellung des ROI ist ein großer Nachteil, da die Einstellung blind geschieht. Im Anschluss daran muss der Stream neu gestartet werden und der VLC-Player muss sich neu verbinden. Da die zeitversetzte Streaming-Option bei diesem Prototyp die einzige Möglichkeit ist, ein Bild aus den Kameras zu bekommen, fällt die Kalibrierung sehr schwer.

Laut dem vorliegenden Forschungsbericht zum ersten Prototypen, wurde die Einstellung der Kameras mit USB-Verbindung durchgeführt. Die MDC-Software konnte zudem ein Vorschaubild in Echtzeit abbilden und die getätigten Veränderungen sofort anzeigen, ohne dass ein Stream neugestartet werden muss. Dies ist natürlich ein großer Vorteil. Aufgrund der baulichen Struktur des Gerätes können allerdings keine USB-Verbindungen für alle Kameraplatten realisiert werden, da diese von der vorderen Grundplatte verdeckt werden.

Eine Möglichkeit zur Wiedergabe eines Sucherbild ist der HDMI-Ausgang der Platten. Dieser befindet sich auf der gegenüberliegenden Seite und wurde ebenfalls getestet. Zum Test des Anschlusses wurde ein herkömmlicher Computermonitor genutzt. Allerdings zeigte dieser an, dass ein falsches Eingangssignal vorliegt. Dies kann zum Einen an einem zu groß skalierten Ausgangssignal der Platine liegen, andererseits am Wiedergabegerät selbst, welches möglicherweise nur ein progressives Signal mit Vollbildern verarbeiten kann und die Kamera via HDMI ein „interlaced Signal“ mit Halbbildern ausgibt. Für den Fall, dass an dem HDMI-Anschluss das Kamerasignal anliegt, würde sich über diesen Anschluss ein Suchersignal in Echtzeit bereitstellen lassen. Dies würde die Motivsuche, die Einstellung der Schärfe und Blende, sowie die Einstellung des ROI wesentlich vereinfachen. Eine Schwachstelle wäre der Anschluss selbst, da aufgrund der zehn Anschluss das HDMI-Kabel immerzu umgesteckt werden muss. Einige Verbesserungsvorschläge zum Streaming und dem damit verbundenen Einstellungen an der Kamera werden in einem späteren Kapitel aufgegriffen und zusammengefasst.

3.1.3 Workflow zum Testbild

Wenn mit Hilfe des VLC-Player Streamingdaten angezeigt werden können, kann die genau Kalibrierung beginnen. Dabei wurde in Vorbereitung auf diesen Test ein für DIN A3 optimiertes Testbild entwickelt. Das Testbild basiert auf Schlussfolgerungen aus den Grundlagen, welche in Vorbereitung auf den Test erarbeitet wurden.

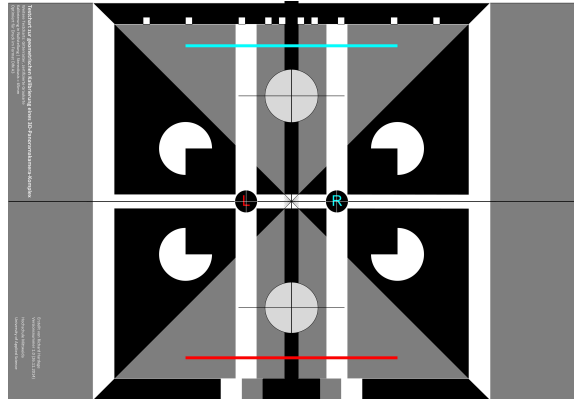


Abbildung 6: Testchart zur Kalibrierung des Kamerasystems

Das Testbild setzt sich aus mehreren Teilen zusammen und fest definierte Bestandteile, sowie assoziative Bestandteile. Zu den Assoziativen zählen die vier 270°-Kreisdarstellungen, wobei die Einfügung dieser ein Experiment sein sollte. Nach der Theorie wird der innere Bereich der angeschnittenen Kreise als Rechteck assoziiert. Dies dient der Untersuchung des Verhaltens im Randbereich. Kommt es im Bild zu Rolls zwischen den Kameras, so wirkt das Rechteck nicht gleichförmig. Zudem lassen sich so Horizontalverschiebungen erkennen. Ist die Skalierung zwischen den Kamerabildern unterschiedlich, so fallen hierbei Differenzen auf. Das Assoziations-Experiment bedient sich dabei einer Gestaltregel. Im Laufe der Tests soll sich zeigen, ob die Verwendung dieser Kreise auf der Testchart sinnvoll ist.

Die restlichen Bestandteile können zur vollständigen Kalibrierung der Kamera genutzt werden. Michel schreibt in seinem Buch von zwei vertikalen Balken im Abstand der festen Stereobasis. Diese sind im Bild zu sehen und schneiden die beiden schwarzen Punkte L und R. Der Abstand der Mittenkreuze der farblich markierten Punkte beträgt exakt 65mm. Die Kameras am Komplex besitzen ebenfalls einen Abstand von 65mm zueinander. Wird die Testchart direkt vor den Objektiven positioniert, so sollten diese exakt den Bereich um das Mittenkreuz wiedergeben. Um die Farbgebung für die Betrachtung mit Anaglyph Brillen festzulegen wurden die Punkte L und R entsprechend gefärbt. Für die weitere Arbeit macht es Sinn auch die jeweiligen linken und rechten Bestandteile der Geräte entsprechend farblich zu markieren (Optiken, Kameras und Leitungen). Wird nun das Stereobild betrachtet, so sollten die weißen Vertikalen und Krei-

se übereinander liegen. Die Buchstaben sind bei der Betrachtung mit Anaglyphbrille mit dem jeweils entgegengesetzten Auge sichtbar.

Die Testchart beinhaltet ebenfalls eine schwarze Vertikale in der Mitte der Testchart. Diese sollte bei der Kalibrierung der Kameras über Eck genutzt werden, das heißt zur Kalibrierung der Kameras RIGHT L auf FRONT L. Die FRONT-Kameras stellen stets das Referenzbild, da die Blickrichtung in den meisten Fällen geradeaus ist. Zudem liegen an den Bildkanten der FRONT-Kameras sämtliche Bildkanten der anderen Kameras an. Der Balken sollte zur Kalibrierung stets am äußersten Bildrand der Referenzkamera mittig positioniert werden. So lässt sich mit Hilfe des ROI der angezeigte Bildausschnitt einstellen. Die Zusammenlaufenden Dreiecke dienen dabei der genaueren Festlegung der Mitte, sowie der Positionierung am Bildrand. Mit Hilfe der grauen Kreise auf der Vertikalen lässt sich die genaue Mitte festlegen. Zudem fällt durch die Betrachtung ein eventuell auftretender Roll zwischen den Kameras auf.

Die angedeutete Grautreppe im unteren Bereich des Bildes dient lediglich einer Simulation. Die Testchart wird für den Testlauf nur probenhalber auf Papier gedruckt. Aus diesem Grund sollten mit dieser Testchart auch keine konkreten Farbeinstellungen vorgenommen werden. Die Testchart gilt für die Testläufe lediglich als Prototyp. Es soll sich zeigen, ob die Testchart praktikabel im Einsatz mit dem Gerät ist.

Die Kalibrierungen mit der Testchart sollten wie folgt durchgeführt werden. Zunächst wird die Testchart auf Höhe des nivellierten Kamerakomplex nah am Gerät positioniert. Im Test wurde eine Entfernung von 33cm zum Gerät für sinnvoll erachtet. Hierbei nimmt die Testchart den kompletten Bildausschnitt der Kamera-paare ein. Bei dieser Entfernung kann die horizontale Ausrichtung mittels des Range of Interest in der Kamera-Software realisiert werden. Der Range of Interest sollte zu Beginn der Tests auf 1920px in der Breite und 1080px in der Höhe eingestellt werden. Die Punkte L und R sollten im Ergebnis deckungsgleich sein. Mit dem Mittenkreuz kann das Paar auf einen möglichen Roll getestet werden. Im Anschluss daran wird die Testchart im Bereich des Minimalabstandes positioniert, wobei die Feststellung des Rolls und eine Vertikalverschiebung festgestellt werden kann. Zudem lässt sich in der Stereoskopischen Darstellung eine Überschneidung der weißen Vertikalen im Bereich der schwarzen Vertikale sichtbar sein. Sind alle Parameter festgelegt, können diese Arbeitsschritte an den restlichen Kameras durchgeführt werden. Diese Kalibrierung gilt nur für das jeweilige Stereopaar.

Als nächstes erfolgt die Anpassung der Überschneidungen über Eck zwischen den Kamera-paaren (zum Beispiel Bildausschnitt von RIGHT L auf Referenz-Bildausschnitt FRONT L und Bildausschnitt von RIGHT R auf Referenz-Bildausschnitt FRONT R). Dazu wird die Testchart auf Höhe des Komplex im errechneten Mindestabstand vor

dem Komplex positioniert. Der Winkel zwischen der optischen Achse der Objektive sollte etwa 45° betragen. Die Testchart wird nun anhand der Bildkanten des Referenzbildes verschoben, bis die Mitte der schwarzen Vertikale an der äußeren Bildkante liegt. Der Crop mittels ROI erfolgt nun im Vergleich der beiden Streams. Der zu kalibrierende Bildausschnitt wird nun mittels ROI so skaliert und verschoben, dass die keine Überschneidung stattfindet. Die Grenze ist dabei die schwarze Vertikale und der Stern in der Mitte auf der Testchart. Aufgrund der gleichen Höhe zwischen Testchart und Kamerakomplex sollten die beiden Bestandteile mittig im Bild liegen. Ist dies nicht der Fall muss der ROI nachgebessert werden. Ziel ist es, einen gleichförmigen Bildübergang zwischen den jeweiligen Bildausschnitten zu erhalten. Stimmt die Skalierung oder Positionierung der Bildausschnitte nicht überein, so führt dies zu einem ungleichmäßigen Panorama und einem höheren Bearbeitungsaufwand in der Postproduktion. Hierbei sollte also möglichst genau gearbeitet werden. Diese Arbeitsschritte sollten für sämtliche Kameras durchgeführt werden.

Da sich zeigte, dass die veränderten Werte nicht in einem User-Preset speicherbar sind und die Kameras stets in den Standardeinstellungen booten, ist es von Vorteil, sämtliche veränderten Werte mitzuschreiben und beim Neustart in die MDC-Software einzugeben. Ansonsten muss die Kalibrierung bei jedem Neustart von Neuem begonnen werden.

3.1.4 Erste Inbetriebnahme des Kamerakomplex

Wie bereits unter 3.1. beschrieben, musste der Kamerakomplex mittels Computernetzteil gespeist werden. Dabei wurde die Stromversorgungsleitung zum Anschluss von S-ATA-Festplatten genutzt, da an diesem konstante 5V Gleichstrom anliegen. Für die Arbeit mit dem Kamerakomplex wurde ein 4pin S-ATA-Stromversorgungsstecker so modifiziert, dass die Adern rot und schwarz genutzt werden konnten, um den Kamerakomplex zu speisen. Die Stromversorgung war für dieses Gerät stabil bis zu einer Kabellänge von zwei Metern. Zur Verwendung kam aufgrund der hohen Stromstärke ein Lautsprecherkabel mit einem Querschnitt von 4 mm^2 . Ein dünneres Kabel wäre nicht verwendbar gewesen, da hierbei eine hohe Temperatur an den Leitungen entsteht und die Gefahr eines Kabelbrandes besteht. Die Leitungen an dem 4pin-Stecker wurden teilweise sehr warm. Ein Verbesserungsvorschlag dazu wird in einem späteren Kapitel aufgegriffen.

Ausrüstung des Kamerakomplex mit „Theia SY125M“-Objektiven

Nachdem eine funktionierende Stromversorgung realisiert war, wurde der Komplex mit den zehn 1,3mm-Objektiven ausgestattet. Ab diesem Zeitpunkt muss der Komplex auf

einem Stativ oder einer festen Unterlage stehen, da die unteren beiden Optiken ein sicheres Abstellen verhindern. Um die Schärfereinstellungen der einzelnen Optiken an allen Kameras gleichermaßen zu behalten, wurden die Seriennummern der Objektive notiert und fest mit den Seriennummern (SN) der Kameras in Verbindung gebracht. Zudem wurden die Verpackungen und Objektivdeckel der Optiken mit den jeweiligen Richtungen und Teilbildern beschriftet.

Tabelle 2: Kamera-Objektiv-Zuweisung

#	Kamera	Teilbild	SN	Objektiv	SN
1	UP	L	3D0019	SY125M 1.3mm	04B00 391
2	UP	R	3D0014	SY125M 1.3mm	04B00 392
3	FRONT	L	3D0015	SY125M 1.3mm	04B00 248
4	FRONT	R	3D0018	SY125M 1.3mm	04B00 247
5	LEFT	L	3D0017	SY125M 1.3mm	04B00 138
6	LEFT	R	3D0020	SY125M 1.3mm	04B00 144
7	RIGHT	L	3D0016	SY125M 1.3mm	04B00 390
8	RIGHT	R	3D0013	SY125M 1.3mm	04B00 141
9	DOWN	L	3D0012	SY125M 1.3mm	04B00 139
10	DOWN	R	3D0011	SY125M 1.3mm	04B00 388

Dieses Vorgehen ist sinnvoll, da die Ausstattung des Gerätes mit allen Optiken rund 15 Minuten Zeit in Anspruch nahm. Die Objektive „Theia SY125M“ besitzen zudem keine Skalierung für die Einstellung der Blende bzw. der Fokussierung. Diese Arbeitsschritte geschehen nur durch Sichtung des Streams. Da allerdings die Blendenzahl bei allen Kameras möglichst gleich sein muss, fällt das Abblenden schwer. Daher wurde sich bewusst für eine Arbeit bei Offenblende entschieden. Die „Blendenstufen“ zwischen offener und geschlossener Blendenstellung sind sehr abrupt und es ist davon auszugehen, dass die Optik nicht eingemessen wurde. Das gleiche Problem trat bei der Fokussierung auf, wobei die Fokussierung nur über den zeitlich versetzten Stream wahrgenommen werden konnte. Das heißt, der Schärfepunkt wurde zwar subjektiv erreicht, allerdings konnte im Anschluss daran nur durch ruckartige kleine Drehungen am Objektiv der Schärfepunkt verändert werden. Da sich aufgrund der Komprimierung hierbei auch stets Blockartefakte bildeten, fiel dieser Arbeitsschritt sehr schwer und konnte nur mit begrenzter Genauigkeit durchgeführt werden.

Zudem stellte sich heraus, dass für die Arretierung des Objektiv-Schraubadapters ein spezieller sehr kleiner Innensechskantschlüssel (schätzungsweise 0,9mm Inbus) benötigt wird. Somit konnte der Schraubadapter der Kamera RIGHT R nicht fest arretiert werden, wodurch das Auflagemaß flexibel einstellbar war. Bei der Kamera RIGHT L

war das Auflagemaß zu gering und konnte aufgrund des fehlenden Inbusschlüssels nicht geändert werden. Die Schärfe konnte somit an der letzteren Kamera nicht korrekt eingestellt werden.

Zustand nach einer Stunde kontinuierlicher Laufzeit

Da das Gerät in der Praxis durchaus über Stunden Bilder streamen muss, zählt zu dem Praxistest auch eine Auswertung der kontinuierlichen Laufzeit unter normalen Beanspruchungen. Zur Studioumgebung lässt sich festhalten, dass der Test unter Normalbedingungen in einem Raum mit normaler Luftfeuchte und Temperaturen von 21°C durchgeführt wurde.

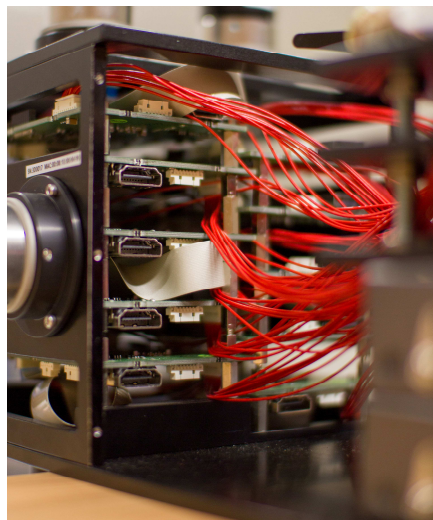


Abbildung 7: Platinenanordnung im Kopf des Komplex

Dennoch fielen bereits nach zehn Minuten die beiden Kameras LEFT L und LEFT R aus und lieferten keine Streamingdaten mehr. Nach weiteren 50 Minuten fiel die Kamera UP L aus. Je öfters die Kameras booteten, desto kürzer wurde die tatsächliche Einsatzzeit. Sämtliche benannten Kameras booten im kalten Zustand und sind fünf Minuten lang einsatzfähig. Nach den fünf Minuten fallen alle Kameras der Reihe nach aus, bzw. booten unter einer anderen IP-Adresse. Der Stream unter der anderen IP-Adresse ist zwar einsehbar, bricht allerdings nach rund zwei Minuten wieder ab, wobei die Kamera neu mit einer wiederum veränderten IP-Adresse bootet. Sämtliche Kameras müssen im neu gebooteten Zustand wieder eingestellt werden. Eine Streamaufzeichnung mit allen Kameras war nach mehreren Anläufen nicht ohne Fehler möglich. Da die Stereoskopie ein großer Bestandteil der Arbeit ist fiel die Wahl der verwendeten Kameras auf funktionierende Stereopaare. Aus diesem Grund wurden die Tests lediglich auf die Kameras FRONT L und R, DOWN L und R, sowie RIGHT L und R beschränkt.

Der Grund für den Ausfall der Kameras LEFT L und LEFT R liegt in der Überhitzung der Kameraplatten. Beide Geräte senden nach kurzer Zeit keine Signale mehr. Die Platten dieser Kameras liegen in der Mitte des Komplex. Dazu kommt, dass die entstehende Stauwärme nicht aus dem Gerät geführt wird. Die Platten in der Mitte sind zudem rundum verbaut, da die Mittelstreben für die Objektivadapter dort am Rahmen verbaut sind und eine Luftzirkulation unmöglich machen. Von allen Platten sind diese nach einer händischen Temperaturprüfung die heißesten. Dies spricht dafür, dass die Kameras entweder aufgrund einer Sicherheitsschaltung abschalten oder sich aufgrund der Wärme Schäden an den Platten vollzogen haben. Letzteres erklärt den Fakt, dass die Kameras stetig versuchen zu booten.

Der Ausfall von Kamera UP L ist jedoch nicht schlüssig erklärbar. Die Platine befindet sich oben auf, links im Komplex. Hierbei sollte die Kamera vom Hersteller nochmals auf deren Funktionstüchtigkeit getestet und auf Fehler ausgelesen werden. Auch hierbei tritt nach einigen Minuten der Fall ein, dass die Kamera neu bootet und dann anders adressiert ist. Dabei ist in der Adressierung kein Muster erkennbar. Die erneute Adressierung verläuft willkürlich und Kameraintern. Ein Reboot der Switche brachte hierbei auch keine Neuregelung der Adressierung der Geräte.

Wird nun die Kalibrierung zwischen den Blickrichtungen vorgenommen, so muss bei Änderung des ROI stets der Stream abgebrochen werden. Daraufhin fehlt dem Betrachter das „Sucherbild“. Dieses muss nach jedem Neustart des Streams mittels VLC-Player wieder verbunden werden. Nach rund 15 Änderungen an dem ROI schalten sich die Kameras aus und booten erneut, wobei sämtliche Änderungen in den Einstellungen erneut vorgenommen werden müssen. Eine genaue Kalibrierung ist so kaum möglich. Es bietet sich also an, alle Änderungen mit zu zeichnen.

Die neue MDC-Software ist bezugnehmend auf den ersten Forschungsbericht ein Rückschritt. In der älteren Version unter Einbindung der USB-Schnittstelle hatte der Nutzer zumindest die Möglichkeit die Änderungen in Echtzeit direkt zu begutachten. Diese Option fällt jetzt weg. Mit einem Zeitversatz von zwei Sekunden lassen sich keine bildtechnischen Parameter einstellen. Im Hinblick auf das Colormanagement der Kamera sind die Sprünge für die einzelnen Farbkanäle zu groß. Eine dezente Anhebung ist somit nicht möglich. Noch dazu kommt, dass die Kameras die Änderungen nicht in einen Speicher schreibt und somit sämtliche Änderungen neu durchgeführt werden müssen, sobald die Kameras neu gebootet haben. Für derart komplexe Einstellungen, wie sie für Stereo-3D nötig sind ist diese Möglichkeit der Einstellung mittels MDC-Software geradezu unbrauchbar.

3.1.5 Aufzeichnung der Streaming-Daten

Zur Aufzeichnung der Daten wurde ebenfalls der VLC-Player genutzt. Dazu wurde in Vorbereitung auf die Testläufe ein VLM-Script entwickelt. Ein VLM-Script wird ähnlich wie eine Batch-Datei mittels Editor erstellt und bearbeitet. Mit einer zusätzlichen Batch-Datei, welche in dem selben Ordner platziert wird, lässt sich der VLC-Player nun für dieses Script starten. Das komplette VLM-Script ist noch einmal in den Anlagen 3 zu sehen.

Tabelle 3: Konzept für ein VLM-Script mit Batch-Datei zur Streamaufzeichnung

VLM-Scripts zur Streamaufzeichnung (vlc_encode_stream.vlm)
<pre>new camUP-L broadcast enabled setup camUP-L input rtsp://KAMERA-IP:8557/PSIA/Streaming/channels /2?videoCodecType=H.264 setup camUP-L option live-caching=300 setup camUP-L option sout-keep #setup camUP-L output #display setup camUP-L output #standard{access=file,mux=avi,dst="camUP-L.avi"} [...Anpassung für alle anderen Kameras...] control camUP-L play</pre>
Batch-Datei zum Start des VLM-Scripts (VLM-Start.bat)
<pre>"c:\PROGRAMMPFAD\vlc.exe" --intf=dummy --vlm-conf=vlc_encode_stream.vlm</pre>

Im VLM-Script wird zunächst eine neue Broadcast-Quelle mit dem Titel der Kamera definiert. Es bietet sich an, einen eindeutigen Titel zu vergeben, da die Weiterverarbeitung dann auch leichter möglich ist. Diese Quelle nutzt als Eingang die Streamingadresse der Kameras. Das Caching beträgt in diesem Fall 0,3 Sekunden. Die Option „sout-keep“ gibt an, dass der Stream offen gehalten wird, solange bis er durch den Nutzer beendet wird. Das Bild soll allerdings nicht angezeigt werden, deshalb ist die nächste Zeile auskommentiert. Am Ende soll eine AVI-Datei entstehen, welche unter dem Name „camUP-L.avi“ gespeichert wird. Am Ende der Befehlskette müssen alle Befehle noch gestartet werden. Dies geschieht über den Befehl „control camUP-L play“. Die Batchdatei verknüpft die VLM-Datei mit dem VLC-Player. Hierbei muss der Pfad zur Datei „VLC.exe“ geschrieben werden. Der Befehl „--intf=dummy“ gibt an, dass die Oberfläche der Players nicht angezeigt wird. Im Anschluss an diesen Befehl wird die VLM-Datei mit dem VLC-Player verknüpft.

Zusammen mit der Batch-Datei wird das Script nun in dem Ordner platziert, in den die Dateien geschrieben werden sollen. Wird nun die Batchdatei gestartet, so schreibt VLC kontinuierlich zehn Streams gleichzeitig in den Ordner, bis die Kommandozeile abge-

brochen wird. Die Bitrate einer einzelnen AVI-Datei beträgt laut Statistiktool des VLC-Player rund 7 Mbit/s. Die Dimension der H.264-komprimierten Videodatei liegt bei 1920px in der Breite und 1072px in der Höhe.

3.1.6 Konvertierung der Videodateien in einzelne Bilddateien

Um das Bildmaterial zu bearbeiten, wurden laut Forschungsbericht verschiedene Freeware- und Open Source-Programme genutzt. Neben dem bereits erwähnten VLC-Player kamen die Programme FFMPEG zur Videokonvertierung und Stereo Photo Marker zur Betrachtung und Bearbeitung der Stereobilder zum Einsatz.

Bei dem Programm FFMPEG handelt es sich um ein sehr mächtiges Kommandozeilen-Tool zur Aufnahme, Konvertierung und zum Streaming von Video- und Audiodateien. Das Tool wird für sämtliche Plattformen frei zugänglich zur Verfügung gestellt. Als Basis der Verwendung des Tools wurden die Informationen aus dem Forschungsbericht aufgenommen und weiter optimiert. So entstand eine Lösung zur Stapelverarbeitung mehrerer Dateien mit nur wenigen Arbeitsschritten. Zunächst wird FFMPEG auf dem Computer installiert. Im Anschluss wird eine Batch-Datei erstellt, welche die ausführbare Datei FFMPEG steuert.

Tabelle 4: Quelltext der Batch-Datei zur Steuerung von FFMPEG

Vorlage einer Batch-Datei zur Steuerung der Datei FFMPEG.exe

```
MD "Img-Seq"
FOR %%A IN (*.avi) DO CALL :avi2jpg "%%A"

:avi2jpg
C:\PROGRAMMPFAD\ffmpeg.exe -i %* -an -f image2 "Img-Seq\%~n1_%%05d.jpg"
```

Nach Änderung des Programmpfads wird die Batch-Datei im Ordner „sendto“ abgelegt. Unter Windows 8 erfolgt der Zugriff auf diesen Ordner mit dem Befehl „shell:sendto“ unter „Ausführen“ (Windows+R). So erscheint die Batch-Datei stets bei einem Rechtsklick auf eine Datei unter „Senden an...“. Zunächst wird durch den Befehl „MD“ ein Ordner erstellt mit dem Titel „Img-Seq“. Als nächstes werden sämtliche AVI-Dateien nach den unter „avi2jpg“ angegebenen Befehlen mittels FFMPEG umgewandelt, wobei der Filename als Platzhalter zwischengespeichert wird.

FFMPEG bearbeitet dann die AVI-Datei mit dem zwischengespeicherten Filename, wobei der Audiostream deaktiviert wurde. Zur Konvertierung wird das Profil „image2“

genutzt, welches die vorliegenden Videodateien in JPEG-Dateien umwandelt. Diese werden in dem Ordner „Img-Seq“ abgelegt und mit dem zwischengespeicherten Filename, einem Unterstrich, sowie einer fünfstelligen laufenden Nummer versehen.

Da die Batch-Datei sich in dem Ordner „Senden an...“ befindet, ist eine Konvertierung nun sehr einfach zu realisieren. Dazu werden die Input-Dateien (AVI-Files) markiert. Mit einem Rechtsklick unter der Auswahl „Senden an...“ wird die Batch-Datei ausgewählt. Die Konvertierung verläuft dann von selbst. Die Bildsequenzen werden gesammelt in dem Ordner „Img-Seq“ abgelegt und stehen dort zur Weiterverarbeitung zur Verfügung.

Ein großer Nachteil der Stapelverarbeitung in dieser Form ist, dass die AVI-Dateien mit der zuerst bearbeiteten Datei überschrieben werden. Dementsprechend sind ein sämtliche AVI-Dateien auf der DVD lediglich in eine Richtung. Der Fehler in der Batch-Datei konnte bis zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht ausfindig gemacht werden. Die Umwandlung in JPEG-Dateien wurde in qualitativ hochwertigster Form durchgeführt, da keine Parameter in die Befehlszeile eingepflegt wurden. Das Ergebnis ist allerdings eher ernüchternd. Es bilden sich starke Treppeneffekte durch die Komprimierung. Für eine sinnvolle Weiterverarbeitung mit anderen Programmen sollte in späteren Versuchen eine verlustfreihere Komprimierung gewählt werden.

3.2 Aufnahmen im Studio bei statischer Umgebung

Entgegen aller Widrigkeiten, welche bereits bei der Vorbereitung festgestellt wurden, mussten die Aufnahmen dennoch durchgeführt werden, nicht zuletzt um aufgetretene Chipfehler zu benennen. Die Aufnahmen beschränken sich lediglich auf die Seiten vorn, rechts und unten. Ein Vollständiges Panorama ist somit nicht erstellbar. Allerdings können durch dieses „kleine“ Panorama die Überschneidungen und das anschließende Stitching zu einem Panorama in Augenschein genommen werden.

Sämtliche Aufnahmen befinden sich auf der beigelegten DVD. Zur Weiterverarbeitung wurden allerdings nur bestimmte Sessions genutzt. Die ersten vier Aufnahmesessions wurden hauptsächlich dafür genutzt, um ein Gefühl für das Handling mit dem Komplex zu bekommen. Hierbei konnten bereits weitreichende Einschränkungen festgestellt werden. Dabei zeigte sich, dass der VLC-Player auch bei einem fehlerhaften oder inaktiven Videostream der Kamera eine Videodatei schreibt. Die AVI-Datei kann dann allerdings nicht wiedergegeben werden.

Das Handling mit der Kamera ist sehr schwierig, nicht zuletzt durch die hohe Instabilität des Systems. Wurden mit Hilfe der MDC-Software erst einmal Einstellungen getätigt, so meldet irgend eine andere der 10 Kameras einen Fehler, wobei das komplette Kon-

strukt einem Reset unterzogen werden muss, der nur durch das kappen der Stromversorgung möglich ist. Um bestes Bildmaterial zu bekommen, sollten die ersten zehn Minuten nach dem Start der Geräte aus dem kalten Zustand genutzt werden, da zu diesen Zeitpunkten die Temperaturen sämtlicher Platinen noch in einem sicheren Rahmen liegen. Aufnahmen nach einer Stunde Laufzeit sind schwieriger zu realisieren, allerdings aufgrund der Dauer zur Kalibrierung des Komplex ein realistischer Wert. Selbst bei den restlichen, für funktionstüchtig erklärten Platinen stellten sich nach einer Stunde Laufzeit Übertragungsfehler ein, welche im Bild durch starke Blockartefakt zu sehen waren.

Zum Zeitpunkt der Tests konnte dem Verfasser keine Gitternetztafel zur Verfügung gestellt werden, wodurch die Feststellung der kissenförmigen Verzeichnung der Geräte nur nach der selbsterstellten Testchart geschehen kann. Dazu wurde die Aufnahme 5 aufgezeichnet. Die aufgezeichneten AVI-Dateien waren alle in einem sauberen Zustand und wurden nach der Aufzeichnung noch einmal gesichtet. Für die Aufnahme selbst wurde die Testchart in einem Abstand von 33cm zur Kamera positioniert, damit die Testchart das komplette Bild der Kamerapaar einnimmt. Die Kameras wurden dabei auf die Punkte L und R kalibriert. Im Anschluss daran erfolgte ein Weißabgleich auf die Tafel selbst mit beiden Kameras. Die Ergebnisse waren nicht gleichförmig, für die Aufnahme von Stereo-3D-Material eher ein Nachteil. Eine Justierung mittels Software wurde zwar versucht, allerdings stellte sich heraus, dass die MDC-Software für einen manuellen Weißabgleich unbrauchbar war, da die Abstufungen zu groß sind. Ebenfalls behinderte die hohe Latenz die korrekte Einstellung. Für zukünftige Aufnahmen wurde aus diesem Grund entschieden, dass der Standard-Weißabgleich genutzt wird. Die Bilder der Kamera mussten gespiegelt und um 180° gedreht werden. Diese Einstellungen betreffen den Stream in der MDC-Software.

Für die Untersuchung der Überschneidungen an den Kanten des Bildausschnittes dient die Aufnahme 6, wobei mittels Veränderung der Stream-Daten in der MDC-Software versucht wurde einen fließenden Übergang zwischen den Bildern zu realisieren. Zunächst musste für diese Aufnahme der Mindestabstand mit dem Programm „Stereo Base Calculator“ errechnet werden. Dazu wurden folgende Werte in das Programm eingesetzt: Die „Gap Disparity“ beträgt laut Tauer für diese Chipgröße 1,2mm.⁴⁶ Die Brennweite beträgt 1,3mm. Laut dem Hersteller „Theia“ lässt sich die Brennweite im Bezug zum Kleinbildformat mit 8,7mm angeben. Der maximale Abstand liegt bei 10m. Die Stereobasis ist baubedingt immer 65mm. Werden diese Werte nun in die Applikati-

⁴⁶ vgl. Tauer 2010, S. 337

on eingepflegt, so errechnet diese einen Minimalabstand von 45cm. Im Anschluss an diese Berechnung wurde, ähnlich dem Workflow zur Verwendung der Testchart, das Testbild im 45°-Winkel 45cm von der Kamera entfernt aufgestellt. Da als Referenzbild stets die FRONT-Kameras dienen, wurde die Testtafel im gleichen Abstand zur Kamera verschoben, so dass die Mitte der Vertikale der Testtafel am äußersten Rand der FRONT-Kamera mit dem linken Teilbild zu sehen ist. Als „Sucherbild“ wurden zwei Instanzen des VLC-Player geöffnet die Streams der Kameras FRONT-L und RIGHT-L wiedergegeben.



Abbildung 8: Kalibrierung der Kameras "über Eck"

Als die Testtafel an der korrekten Position stand, wurde mit Hilfe des Sucherbild der Kamera RIGHT-L und der Veränderung der Einstellungen im Reiter Stream der MDC-Software der ROI verändert. Die linke Bildkante des Kamerabildes von FRONT-L sollte gleichmäßig an der rechten Kante der Kamera RIGHT-L anliegen, so dass ein gleichmäßiger Übergang zwischen den Bildern möglich ist. Wird hier nicht akkurat gearbeitet, so kann es zu störenden Bildübergängen zwischen den Blickrichtungen kommen. Das gleiche Prozedere sollte für die jeweils rechten Kameras durchgeführt werden. In dem Test mit einem bewegten Objekt wird ersichtlich werden, dass diese Kalibrierung zwar grundlegend richtig ist. Durch den „Fischaugen-Charakter“ der Optiken biegt sich das Bild förmlich um diesen kalibrierten Punkt herum. Das heißt, mit zunehmender Entfernung zum Objekt konnte der Punkt der Überschneidung der einzelnen Blickrichtungen nicht durchgehend festgelegt werden. Eine genauere Auswertung dazu wird in einem späteren Kapitel zu lesen sein. Eine Kalibrierung der unteren Kamera auf die oberen

wurde nicht durchgeführt, da hierfür keine sinnvolle Befestigung der Testchart gefunden wurde. Bei der Betrachtung des Bildmaterials fiel allerdings bereits auf, dass die Überschneidungen zwischen den Kameras FRONT und DOWN schwierig zu realisieren sind, bzw. diese sich nicht wirklich überschneiden. Eine genauere Analyse mittels Grafikprogrammen wird hierüber in dem Kapitel Auswertung Aufschluss geben.

Mit der Aufnahme 7 soll ein Test der Berechnung durch die Applikation „Stereo Base Calculator“ zum Mindestabstand durchgeführt werden. Dazu wurden in bestimmten Abständen Objektivdeckel positioniert. Die doppelt geschichteten Deckel liegen exakt bei 45cm Abstand zum Chip. Diese sollten ohne binokulare Rivalität fusionierbar sein. Sämtliche Deckel vor diesem Punkt liegen vor dem Minimalabstand und sollten aus diesem Grund zu große Disparitäten besitzen.

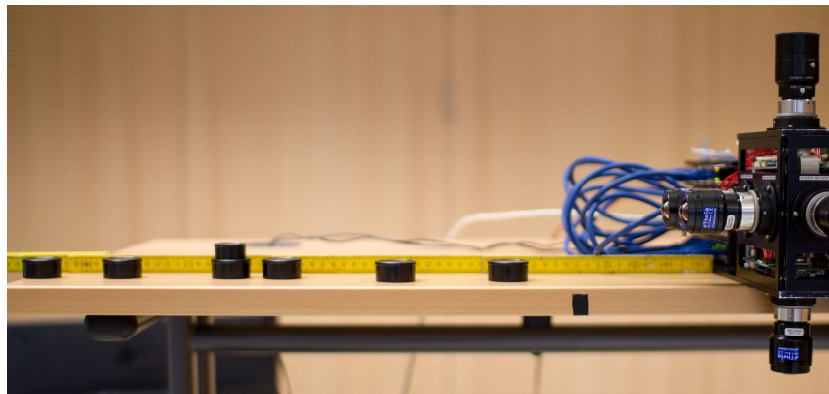


Abbildung 9: Versuchsaufbau für die Feststellung des Mindestabstandes

Sämtliche Aufnahmen bei unbewegter Umgebung können als Standbild dargestellt werden. Da es hierbei größtenteils um die Darstellung der Kalibrierung geht, wird hierbei auf ein Ausspiel als Video verzichtet.

3.3 Aufnahmen im Studio bei bewegter Umgebung

Da sich die Aufnahmen als sehr anspruchsvoll und komplex herausstellten, beschränken sich die Aufnahmen bei bewegter Umgebung lediglich auf geringfügige Bewegungen. Um das Verhalten in den Randbereichen und die Übergänge zwischen den Kameras DOWN und FRONT zu testen dient die Aufnahme 8. Hierbei soll ein Augenmerk auf die Untersuchung der Mindestabstände gelegt werden. Der Verfasser stand dazu jeweils in unterschiedlichen Abständen zur Kamera vor der vorderen Kamera und vergrößerte dann kontinuierlich seinen Abstand. Die Abstände lagen jeweils bei 30cm, 45cm, 60cm, 100cm, 150cm, 250cm und 400cm. Die Auswertung des Materials soll auch hierbei zeigen, ob der berechnete Minimalabstand korrekt ist. Zudem soll der Test zeigen, in welchen Abständen eine Nullebene feststellbar ist. Um im Raum die nötige

Tiefe zu erzeugen wurden auf den Tischen Monitore verteilt. Zudem erzeugen die hängenden Lampen, sowie die Wandvertäfelung bereits in der zweidimensionalen Wiedergabe einen guten Eindruck von Tiefe. Bereits bei der Aufnahme fiel auf, dass die Kameras aufgrund der Optiken zu den Rändern extrem verzeichnen.

Um das Randverhalten zwischen den Kameras FRONT und RIGHT zu untersuchen wurde die Aufnahme 9 durchgeführt. Dazu wurde ein Bandmaß auf dem Boden verlegt. Das Band schneidet die Punkte des Kamerastandorts und die Mitte des Standorts der Testtafel bei annähernd 45° . Die Punkte wurden nach dem Test auf dem Boden mit schwarzem Klebeband markiert. Das Band wurde dann im Abstand von 30cm bis 400cm abgeschritten. Hierbei zeigte sich die Beugung der Kamerabilder um den kalibrierten Punkt herum. Das heißt, die Blickachsen schneiden sich sehr ungünstig und eine Randkalibrierung ist sehr schwierig zu realisieren. Wie groß die Beugung ist, soll die Auswertung zeigen.

4 Auswertung der Testaufnahmen

Die Auswertung des Bildmaterials erfolgte chronologisch. Es wurden die Aufnahmen 5 bis 9 hinsichtlich der bereits erwähnten Ziele ausgewertet. Dazu wurden die JPEG-Sequenzen mittels „StereoPhoto Maker 5.0.6.0“ bearbeitet. Die Bearbeitung wurde ähnlich der Kalibrierung zuerst an den FRONT-Kameras durchgeführt. Danach folgten sämtliche anderen Kameras. Um ein gleiches Bild von allen Kameras zu erhalten muss jedes Teilbild die identische laufende Nummer besitzen. So werden beispielsweise zur Bearbeitung der FRONT-Kameras die Bilder „camFRONT-L_0100.jpg“ und „camFRONT-R_0100.jpg“ in die Software geladen. Nur so ist davon auszugehen, dass der für die Teilbilder identische Zeitpunkt zu einem Stereobild zusammengefasst wird. Bei Stichproben stellt sich allerdings heraus, dass die Kameras starken Latenzschwankungen unterliegen.



Abbildung 10: Aufnahme 8 - Starke Latenz zwischen Teilbildern

Eine Zusammenfassung der Einzelbilder zu einem Film macht im Falle des Kamera-komplex wenig Sinn, da die Kameras zwingend synchron laufen müssen. Dies wurde bereits in der Grundlagenbetrachtung erwähnt. Ist die Synchronität nicht gegeben, kann es zu schwerwiegenden Bildfehlern kommen. In Abbildung 10 entsteht so der Eindruck, dass sich zwei „Geister“ im Bild befinden.

Das 3D-Sehen ist dadurch nicht mehr möglich, da die Kameras unterschiedliche Bewegungsabläufe abbilden. Besonders deutlich wird dies bei der DOWN-Kamera. Hierbei bildete sich ein „dritter Fuß“ aus. Ein Angleich der Latenz war im Nachhinein nicht möglich, da der Versatz bei 1,5 bis annähernd 2 Frames liegt. Auch in der Kamera-software existiert keine Gen-Lock- oder Clock-Möglichkeit zwischen den Geräten. Es ist unklar, welches Gerät als Master fungiert. Des weiteren wären sämtliche Einstellungen bezüglich der Clock nicht kontinuierlich einsetzbar, da nach einem Trennen der Stromversorgung sämtliche Einstellungen verloren gehen. Aufgrund der Latenz wurde

auf eine Auswertung der Bilder bei bewegter Umgebung verzichtet, da eine korrekte Bewertung dieser nicht möglich ist.

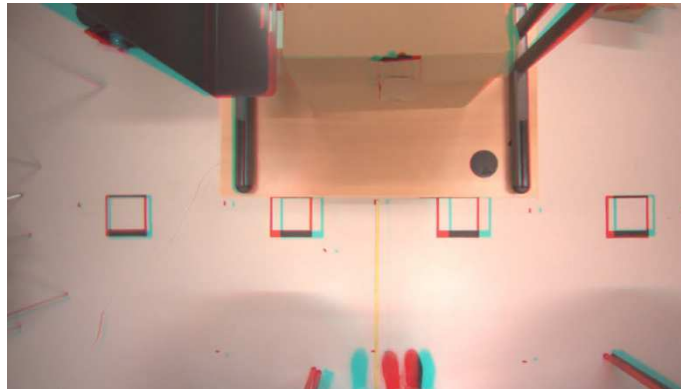


Abbildung 11: Aufnahme 8 - Ghostings aufgrund von Latenzproblemen

Um eine Korrekturdatei zu erstellen, diente Aufnahme 5 und 6. Die Aufnahme 5 beschäftigte sich mit der korrekten Kalibrierung der Kameras zueinander. Hierbei sollten horizontale und vertikale Verschiebungen zwischen den Kameras festgestellt werden. Die Objektive zeigen exakt auf die Mitte der Punkte L und R auf der Testtafel. Allerdings stellte sich eine leichte Verschiebung fest. So muss die horizontale Position musste um -8 Pixel verschoben werden, die vertikale Position um -17 Pixel. Werden diese Änderungen vorgenommen, so bildet sich die rechte Vertikale als Überlagerung heraus. Die genaue Kalibrierung lässt sich mit Hilfe der Option „Edge Detection“ durchführen.

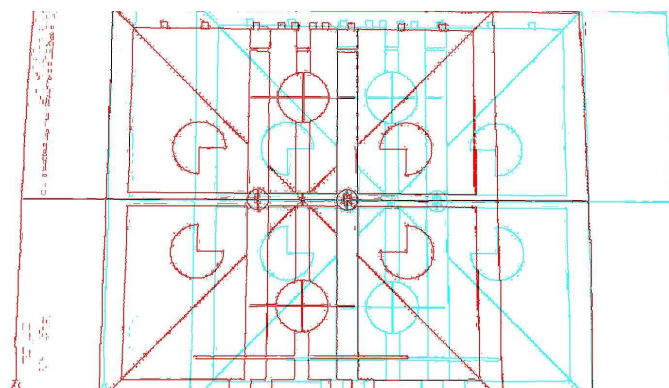


Abbildung 12: Aufnahme 5 - Überlagerungen nach Kalibrierung

Die gewollte Assoziierung des Vierecks aufgrund der 270°-Kreise funktioniert in diesem Bild noch nicht. Interessant wird diese Betrachtung erst bei der Kalibrierung über Eck in Aufnahme 6. Wird der Blick auf die Ränder des Bildes konzentriert, so fällt die starke Verzeichnung des Bild auf. Besonders die rechte Kante in cyan besitzt eine deutliche Rundung. Aufgrund der Tatsache, dass das Bild in der Postproduktion verschoben

werden muss, um eine genaue Kalibrierung zu erhalten, muss die Kalibrierung während der Aufnahme noch einmal durchgeführt werden. Eine Auswertung des Bildes mittels der „Edge Detection“ bereits während des Aufnahmeprozesses wäre sehr wünschenswert, da nur so eine genaue Überlagerung festgelegt werden kann. Andernfalls werden in der Postproduktion Verschiebungen durchgeführt, welche sich auf das komplette Panorama auswirken und dazu führen, dass die Kanten nicht mehr korrekt aneinander liegen. Weiterhin kann die Kalibrierung nicht als Standard gesehen werden, da sich das komplette Setup der Kameras mit schwankender Temperatur verändern kann. Bei der Korrektur der RIGHT-Kameras stellt sich heraus, dass aufgrund der Unschärfe der Kamera RIGHT-L eine Kalibrierung aufgrund fehlender Kontraste der verschwommenen Kanten kaum möglich war. Die Horizontale- und Vertikalkorrektur konnte aufgrund dessen nur sehr grob eingeschätzt werden. Es ergaben sich dabei eine Verschiebung in horizontaler Richtung von -5 Pixeln und -30 Pixel in vertikaler Richtung. Aufgrund der Unschärfe sind die Bilder kaum verwendbar.

Die Aufnahme 6 zielte auf die Untersuchung der Überschneidungen zwischen den Kameras FRONT und RIGHT. Hierbei wurden die Presets aus den vorangegangenen Korrekturen genutzt. Da sich die Überschneidungen in den Randbereichen abspielt, kommt es hier zu großen Verzeichnungen. Wird nun das korrigierte Material zusammengesetzt, so ergibt sich ein Stereobild mit hartem Übergang an den Kanten. Es wurde zudem versucht, die Dateien mittels „Photomerge“ in „Adobe Photoshop“ und dem im Forschungsbericht beworbenen Programm „Microsoft Image Composite Editor“ zu einem Panorama zusammenzusetzen, allerdings erzielte dies keine Ergebnisse, da die Übergänge nicht übereinstimmten. Ein weiterer Versuch wird ohne Testtafel in einem späteren Versuch durchgeführt. Auffällig war zudem der Höhenversatz, der trotz einer Kalibrierung sehr stark auftrat. Zudem kam es bei der Verschiebung zu einer Änderung der Skalierung, wodurch die Dimensionen der beiden Bilder nicht mehr übereinstimmen. Eine genauere Kalibrierung aufeinander ist nur Bild für Bild möglich, was in der Postproduktion extrem aufwendig ist. Zudem ist die Bildqualität sehr schlecht. Eine sinnvolle nachhaltige Bearbeitung des Rohmaterials ist deshalb kaum möglich, ohne das Material unnatürlich zu verzerren.

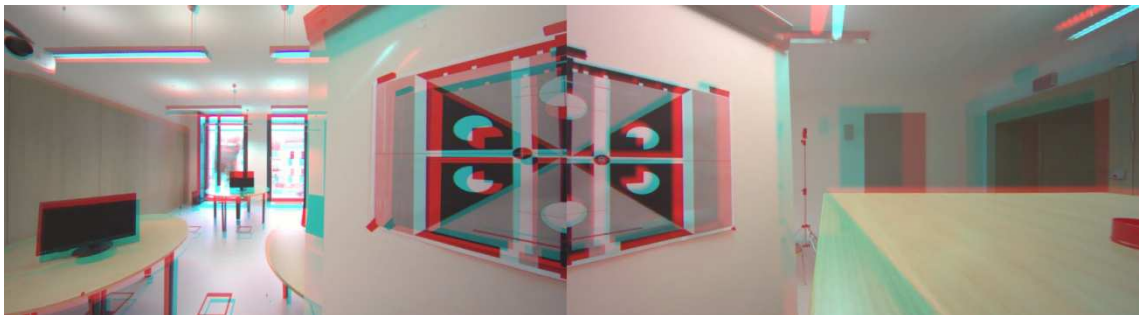


Abbildung 13: Aufnahme 6 - FRONT und RIGHT kombiniert

Die Farbgebung der Kameras ist unterschiedlich, da beide Kameras einen unterschiedlichen Weißabgleich besitzen. Auch hier würde ein „Master-Slave-System“ sinnvolle Anwendung finden.

Durch die Komprimierung des Bildmaterials bereits bei der Aufnahme treten Blockartefakte auf, welche das Sehen und die Beurteilung von Kanten erschweren. Die Tests zum Minimalabstand mittels Aufnahme 7 konnten aus diesem Grund nur sehr subjektiv durchgeführt werden, nicht zuletzt aufgrund der Unschärfe der Kamera RIGHT-L. Der Nahpunkt konnte nicht konkret verifiziert werden, da die Unschärfe an dem Punkt zu groß war. Es zeigte sich allerdings bei späteren Versuchen, dass der Mindestabstand korrekt ist.⁴⁷ Aus Sicherheitsgründen sollte eine größere Entfernung angenommen werden, da die 0,45 Meter Mindestabstand zu sehr großen Disparitäten führen. Eine Fusion der Teilbilder ist fast nicht mehr möglich. Dies zeigte sich besonders in Aufnahme 8.

4.1 Unbewegte Studioumgebung

Die Aufnahmen 8 diente zur Darstellung einer unbewegten Studioumgebung. Da die DOWN-Kameras nicht explizit mittels Testchart kalibriert werden konnte, diente der untere Tisch als Kalibrierung. Die Aussparung im Tisch sollten übereinander liegen. Die horizontale Verschiebung beträgt -65 Pixel, die vertikale Verschiebung beträgt +4 Pixel. Es wurde zudem versucht, einen Übergang zwischen den Kameras DOWN und FRONT zu realisieren. Der Winkel dafür ist allerdings nicht ausreichend groß. Eine Abbildung von gleichen Bildbestandteilen ist bei einer Gerätehöhe von 1,50 Meter nicht realisierbar. Zwar bildet die DOWN-Kamera an den oberen Rändern den Mindestabstand von 0,45 Metern ab, die Blickachse der FRONT-Kamera liegt allerdings weiter entfernt. Dieser Bereich wird wiederum von der DOWN-Kamera nicht mehr abgebildet. Bei der Betrachtung der Bilder, welche von der DOWN-Kamera aufgezeichnet werden fällt zudem auf, dass die Kamera mit großer Wahrscheinlichkeit das Stativ unter dem Gerät abbilden wird. Laut Forschungsbericht sollte dies allerdings vermieden werden.

⁴⁷ siehe Anlagen I - Stereobilder



Abbildung 14: FRONT und DOWN bei Minimalabstand

Ungeachtet der genannten Widrigkeiten kann der Komplex in weiterer Entfernung einen guten dreidimensionalen Eindruck des Raumes vermitteln. Als Beispiel gilt in diesem Fall der Abstand 2,50 Meter und 4,00 Meter.⁴⁸

Mit den Aufnahmen 9 stellte sich heraus, dass die Optiken aufgrund des „Fischaugen“-Charakters ein Bild abbilden, was sich förmlich um Objekte an den Randbereichen biegt. Eine Kalibrierung der Übergänge zwischen den Blickrichtungen muss deshalb weiter optimiert werden. Eine Abbildung ohne sichtbaren Übergang ist nicht ohne weiteres möglich. Dies wird insbesondere bei weiteren Entfernungen sichtbar. Im Vergleich zu Aufnahme 6, in der die Übergänge kalibriert werden sollten, liefert Aufnahme 8 sehr schlechte Ergebnisse. Die Überschneidungen sind deutlich sichtbar, es existieren Dopplungen im Bild, wobei ein solches Bild nicht für die Weiterverarbeitung als Panorama verwendbar ist. Um ein zylindrisches Panorama aus dem Material erstellen zu können müssten weitere Blickrichtungen zugefügt werden. Die Verbesserungsvorschläge dazu befinden sich in einem späteren Kapitel.

⁴⁸ siehe Anlage I - Stereobilder



Abbildung 15: Collage der drei Blickrichtungen

4.2 Einsatzszenario Außenaufnahme

Das Szenario „Außenaufnahme“ beruht auf den Erfahrungen, welche sich bei der Arbeit mit dem Gerät ergeben haben. Ursprünglich sollten mit dem Gerät auch Aufnahmen unter Realbedingungen durchgeführt werden, allerdings schränkt der Bau des Gerätes dieses Vorhaben ein. Der Versuchsaufbau sieht vor, dass die Stromversorgung der Kameras mittels Computernetzteil realisiert wird. Die gemessenen 7 Ampere Stromstärke welches das Gerät benötigte waren für das Computernetzteil die maximale Ausgangsleistung bei 5V. Beim Einsatz von längeren Leitungen kommt es aufgrund eines höheren Widerstandes zu einer Unterversorgung der Geräte, wodurch diese nicht mehr ordnungsgemäß laufen können. Aus diesem Grund kam eine ca. zwei Meter lange Leitung zum Einsatz. Der Querschnitt des Kabels sollte aufgrund der hohen Stromstärke dem eines Lautsprecherkabels entsprechen. Andernfalls kann es zur Schmelze des Kabelmantels kommen. Auf Fotos der Firma „Kappa“ ist das Gerät allerdings mit einem Kunststoffbody, sowie einem Netzteil zu sehen. Beides lag der Hochschule für den Testlauf nicht vor. Die umständliche Stromversorgung ist einer der Hauptgründe, wieso bewusst auf die Außenaufnahmen verzichtet wurde. Für die Aufzeichnung des Materials wird dringend ein Laptop benötigt. Die Switches des Gerätes können mittels „Power over Ethernet“ (PoE) mit Strom versorgt werden. Dies ist ein großer Vorteil, da dadurch zwei Netzteile eingespart werden können. Um die Kameras zu betreiben wird zwingend eine Stromversorgung benötigt. Daraus folgt, dass alle Außenaufnahmen in Reichweite einer Stromversorgung durchgeführt werden müssen. Ist diese nicht in Reichweite, so müssen die Aufnahmen mit Hilfe eines mobilen Stromgenerators durchgeführt werden.

Ein weiterer Grund, weshalb auf die Aufzeichnung von Außenaufnahmen verzichtet wurde, liegt in der Konstruktion des Kopf des Komplex. Eine Überhitzung der Platinen

ist aufgrund der Anordnung dieser nicht zu umgehen. Zudem existiert keine Möglichkeit die entstehende Stauwärme abzuführen. Für das Szenario bedeutet dies, dass im Außenbereich unter Umständen eine höhere Temperatur sowie eine höhere Luftfeuchtigkeit vorherrschen kann, als dies in der Testumgebung der Fall war. Für diesen Fall kann nicht garantiert werden, dass sämtliche Kameras ausfallen und somit keine Bilder mehr liefern. Der Body ist allerdings als Schutz vor Schmutz und Wasser unerlässlich. Lediglich die oberen Optiken sind ungeschützt der Witterung ausgesetzt. Da sich allerdings aufgrund des Bodys ein größerer Raum bildet, welcher nicht von Luft durchströmt werden kann, kommt es hierbei zu noch größerer Stauwärme. Zudem geben die Switches ebenfalls Wärme an die Umgebung ab. So wird sich der Innenraum des Bodys stark erhitzen, was zum Ausfall sämtlicher empfindlicher Elektronik führt. Aus den Fotos wird nicht ersichtlich, ob ein Luftdurchlass realisiert wurde. Es ist allerdings davon auszugehen, dass dies der Fall ist. Allerdings reicht eine passive Kühlung nicht aus. Die Platinen sollten mit einem aktiven Lüfter versehen werden um eine bessere Luftzirkulation realisieren zu können.

4.3 Evaluierung des Bildmaterials

Das Bildmaterial ist für die Erstellung eines Panoramas ungenügend. Einerseits fehlen weitere Blickrichtungen, um ein zylindrisches Panorama erstellen zu können. Ohne diese „Zwischenbilder“ sind die Übergänge zu hart, wie dies bei der Betrachtung der Übergänge zwischen den Kameras FRONT und RIGHT zu sehen war. Werden die Bilder von FRONT und DOWN miteinander kombiniert, so kommen keine Überschneidungen zu Stande, obwohl der Komplex annähernd auf Kopfhöhe positioniert waren. Wird das ROI weiter nach vorn bewegt so treten die Verzeichnungen zu den Rändern hin stark auf und das Bild wölbt sich. Dies verzerrt wiederum die Perspektive und verhindert eine Kombination als Panorama.

Das Bildmaterial für die Erstellung von stereoskopischen Bildern sollte sehr hochwertig und frei von Bildfehlern sein. Die genauen Anforderungen wurden bereits in den Grundlagen behandelt. Der Komplex stellt Bildmaterial zur Verfügung, welches für die weitere Verarbeitung für stereoskopische Bilder ungenügend ist. Die Fehler liegen einerseits bei dem Komplex selbst, zum anderen beim sehr komplexen Workflow. Zur Aufzeichnung des Bildmaterials wurde das Containerformat Audio Video Interleaved (AVI) gewählt. Die Verwendung dieses Formats ist für eine weitere Bearbeitung eher

schlecht geeignet, da der Container keine Time Code-Implementierung unterstützt.⁴⁹ Für den Fall, dass sämtliche Kameras über einen Time Code synchronisiert werden, würde die Verwendung des Formats AVI die Postproduktion behindern. Es ist von äußerster Wichtigkeit, bei stereoskopischen Bildern absolut framegenau arbeiten zu können.

Laut Analyse mittels FFMPEG wurde der Stream mit einer H.264-Komprimierung und einer Bitrate von 7-8 Mbit/s in den Container geschrieben. Das Verhältnis zwischen Luminanz- und Chrominanzsignale (Helligkeits- und Farbdifferenzsignale) beträgt „4:2:0“, was bedeutet, dass das Chrominanzsignal bereits bei der Aufzeichnung reduziert ist.

```
Input #0, avi, from 'camDOWN-L.avi':
  Duration: N/A, start: 0.000000, bitrate: N/A
  Stream #0:0: Video: h264 (High) (h264 / 0x34363268), yuvj420p(pc), 1920x1072
  [SAR 1:1 DAR 120:67], 25 fps, 25 tbr, 25 tbn, 30 tbc
Output #0, image2, to 'Img-Seq\camDOWN-L_%05d.jpg':
  Metadata:
    encoder      : Lavf56.15.105
  Stream #0:0: Video: mjpeg, yuvj420p(pc), 1920x1072 [SAR 1:1 DAR 120:67], q=2
  -31, 200 kb/s, 25 fps, 25 tbn, 25 tbc
  Metadata:
    encoder      : Lavc56.15.100 mjpeg
Stream mapping:
  Stream #0:0 -> #0:0 (h264 (native) -> mjpeg (native))
Press [q] to stop, [?] for help
frame= 722 fps= 85 q=24.8 size=N/A time=00:00:29.00 bitrate=N/A
```

Abbildung 16: Screenshot der Analyse mittels FFMPEG

Bei der H.264-Komprimierung handelt es sich um ein Videodatenreduktionsformat, welches für ein fertiges Endprodukt sehr gute Ergebnisse liefert. Zum einen wird durch die Reduktion die Dateigröße geringer, zum anderen wird die Bildqualität subjektiv nicht beeinflusst. Für eine weitere Verarbeitung und Postproduktion ist jegliche Art von Komprimierung schlecht geeignet. Negativ auf die Postproduktion wirkt sich auch die Reduktion des Chrominanzsignals aus. Dies lässt sich allerdings nicht verändern, da die H.264-Komprimierung eine solche Reduktion vorsieht. Das AVI-File wird in einem weiteren Schritt in einzelne JPEG-Bildsequenzen umgewandelt, so findet hierbei eine erneute Komprimierung statt. Durch diese Wandlung kamen höchstwahrscheinlich die massiven Treppeneffekte und Artefakte in die Bildsequenzen, welche eine weitere Bearbeitung im Hinblick auf stereoskopisches Bildmaterial fast unmöglich macht. In den Bildern treten zudem starke Kompressionsartefakte auf, welche teilweise sogar partiell zum völligen Verlust an Bildinformation führen. Für eine Bearbeitung ist dieses Ausgangsmaterial nicht brauchbar.

⁴⁹ Mücher 2013, S. 82f



Abbildung 17: Starke Kompressionsartefakte im Bild

Die Kompressionsartefakte treten in unbestimmten zeitlichen Abständen auf. Besonders auffällig werden diese bei schnellen Veränderungen im Bild. Würden die Kameras mit höheren Bitraten zwischen 25 und 50 Mbit/s arbeiten, so würde sich dieses Problem nicht so gravierend auswirken. Da sich bei dem Kamerakomplex ein großer Teil der Arbeit auf die Postproduktion konzentriert, sollte für zukünftige Forschungen an diesem Gerät zwingend über eine solche Veränderung nachgedacht werden.

5 Optimierung des Kamerakomplex

Es wurden bereits viele Defizite genannt, welche bei nachfolgenden Prototypen nicht mehr auftreten sollten. Dieses Kapitel fasst die in diesem Zuge entstandenen Verbesserungsvorschläge zusammen und soll gewissermaßen als Orientierung für spätere Forschungsarbeit auf diesem Gebiet gelten.

5.1 Verbesserungsvorschläge für die Software

Der Kamerakomplex benötigt dringend eine Möglichkeit zur Wiedergabe des Kamerabildes in Echtzeit. Dazu gibt es einen Ansatz, der die Software betrifft. Es müsste die MDC-Software so modifiziert werden, dass ein „Viewfinder“ mittels USB-Anbindung angezeigt werden kann. Ähnlich der MDC-Software, welche bei dem ersten Prototypen Anwendung fand, sollte das Vorschaufenster neben den Einstellungen positioniert werden. So lassen sich die Änderungen in Echtzeit nachverfolgen. Die getätigten Einstellungen sollten Geräteintern abgespeichert werden. Das heißt, bei der Kalibrierung sollte der Nutzer ähnlich eines Administrators Zugriffsrechte auf die Standardwerte haben. Wenn diese Standardwerte aus der Kalibrierung bei jedem Boot der Kameras geladen werden, so wird die Arbeit schneller vorangebracht. So bietet es sich an, die Kameras auf zwei Ebenen arbeiten zu lassen. Bei der Anbindung der Kameras mittels USB sollte der Nutzer Vollzugriff auf alle Kameraeinstellungen besitzen. Für die Aufzeichnung bietet sich der Stream aufgrund der geringeren Datenmengen an. Somit sollte der Abruf des Streams zur Aufzeichnung lediglich via LAN abrufbar sein. Die zeitliche Latenz wirkt sich nicht negativ auf die weitere Arbeit aus, vorausgesetzt sämtliche Kameras laufen synchron.

Die Software sollte nach Möglichkeit den kompletten Komplex bearbeiten können. So müssen nicht mehrere Instanzen der Software geöffnet werden. Dies führte bei den Tests zu einer weiteren Fehlerquelle. Sämtliche Kameras waren nur durch deren Seriennummer und IP-Adresse charakterisiert. Der Nutzer musste stets in einer Liste nachschlagen, welche Kameras er im Moment ansteuert. Wenn der Nutzer den einzelnen Kameras intern eine Beschriftung geben kann, so gestaltet sich der Umgang mit der Software einfacher und sicherer. Die Software für den kompletten Komplex sollte zudem eine Master-Slave-Funktion besitzen, welche die Einstellungen die Kameraeinstellungen bei allen Kameras synchronisiert. Mit Hilfe der Software und des Master-Slave-Systems könnte auch eine Time Code- oder Clock-Möglichkeit geschaffen werden. Da die Kalibrierung die FRONT-Kamera als Referenz vorsieht, bietet es sich an, die FRONT-Kameras als Master und die restlichen Kameras als Slave zu deklarieren. Für die Einstellung des ROI sollte jede Kamera einzeln angesteuert werden.

Es zeigte sich, dass die Bitrate von 7-8 Mbit/s einer fundierten Postproduktion nicht gerecht wird. Wenn die Bitraten der Kameras auf 25-50 Mbit/s erhöht werden kann, so sollten die Bilder dann auch detailreicher sein. Dadurch steigt zwar der Datendurchsatz, mit einem Laptop mit Solid State Disk ist die Aufzeichnung des Streams ohne Einschränkung möglich.

5.2 Verbesserungsvorschläge für die Hardware

Laut Forschungsbericht sollte das Gerät ursprünglich mit einem handelsüblichen professionellen V-Mount Akku betrieben werden. Diese Akkus besitzen eine Betriebsspannung von 14,4V und schalten bei 12V die Stromversorgung automatisch ab. Da diese Akkus für den professionellen Bereich ein zuverlässiger Standard sind, sollte über eine Entwicklung einer Stromversorgung mit Hilfe dieser Akkus nachgedacht werden. Dazu sollte entweder die Betriebsspannung der Kameras auf 12-14V angehoben werden. Eine andere Möglichkeit wäre der Einsatz einer speziellen Schaltung mit Spannungsregler zur Stabilisierung der Betriebsspannung. So könnte dem Gerät auch eine konstante Stromversorgung von gleichbleibend 5V zugeführt werden. Die Switches könnten ebenso an die Stromversorgung angeschlossen werden, da deren Betriebsspannung bei 12V liegt. Für die Versorgung weiterer Verbraucher bietet der V-Mount Akku zudem einen D Tap-Ausgang. Für die Anbringung des V-Mount Akkus bietet sich der hintere Teil des Komplex an. Dort lässt sich ein V-Mount Adapter gut verbauen und die Akkus problemlos wechseln.



Abbildung 18: Gerät des Herstellers „Kappa“ mit Body

Die Option, das Gerät mit Hilfe des Computernetzteils zu speisen ist für die Zukunft nicht praktikabel. Da die Stromversorgung mittels V-Mount Akku nochmals einen große Investition und einige Arbeitsstunden in Anspruch nimmt, sollte für die weitere Arbeit mit dem Prototyp zwei in die Anschaffung eines Steckernetzteils mit 5V Ausgangsspannung und 10A Stromstärke investiert werden. Mit dem Steckernetzteil können die Switches nicht versorgt werden. Diese sind allerdings PoE-fähig. Mit einem Laptop, welcher gleichermaßen PoE-fähig ist, wäre die Stromversorgung der Switches realisierbar.

Eine Softwarelösung zur Realisierung eines Sucherbildes wurde bereits erwähnt. Aus der Beschaffenheit des Kopfes des Komplex ergibt sich für die Hardware eine weitere Möglichkeit. Diese ist zwar mit größeren Kosten verbunden, allerdings wird mit diesem System der Viewfinder von dem Aufzeichnungsgerät entkoppelt. Die HDMI-Ausgänge der Platinen können zur Generierung eines Sucherbildes genutzt werden. Für den Fall, dass an diesem Ausgang das Ausgangsbild unter Beachtung des ROI anliegt, kann dieser Videoweg mit einem schaltbaren Referenzmonitor als Viewfinder genutzt werden (Datavideo TLM-700 HD oder SONY PVM-741). Dabei sollten 7"-Modelle genutzt werden. Diese professionellen Monitore lassen sich zudem mit einem D Tap-Adapter an einem herkömmlichen V-Mount Akku betreiben. Zudem lassen sich auf den Monitoren Mittenkreuze und Rahmen anzeigen. Um zu vermeiden, dass nach jeder Betrachtung der einzelnen Kameras die HDMI-Kabel umgesteckt werden müssen, lässt sich auf dem Body ein 10-fach HDMI Switch installieren, der die Quellen einfach umschalten kann. So erhält der Nutzer eine gute Möglichkeit jedes Bild mittels Referenzmonitor einzustellen. Ein perfekt eingestelltes ist eine gute Basis für die weitere Arbeit mit dem Gerät.

Der Body sollte stets mit einem Satz speziellen Innensechskantschlüssel und entsprechenden Schrauben ausgestattet sein. Die Madenschrauben zur Arretierung der Objektivs benötigen vermutlich einen Inbus der Größe 0,9mm. Ein solches Spezialwerkzeug war zum Zeitpunkt des Testlaufs selbst im Techniklager der Hochschule nicht verfügbar. Daraufhin konnte das Auflagemaß der Kamera RIGHT-L nicht verändert werden.

Wie bereits aus der Evaluierung und Auswertung der Ergebnisse hervorgeht, sind die einzelnen Blickrichtungen schlecht positioniert, um ein zylindrisches Panorama zu erstellen. Die Übergänge zwischen den Blickrichtungen waren entweder zu stark oder es bildeten sich keine Schnittmengen heraus, wodurch die Erstellung eines Panoramas hinfällig wurde. Um ein Panorama erstellen zu können, sollten die Blickrichtungen anders angeordnet werden. Eine Möglichkeit der Anordnung ist nachfolgend in einer schematischen Zeichnung aufgezeigt.

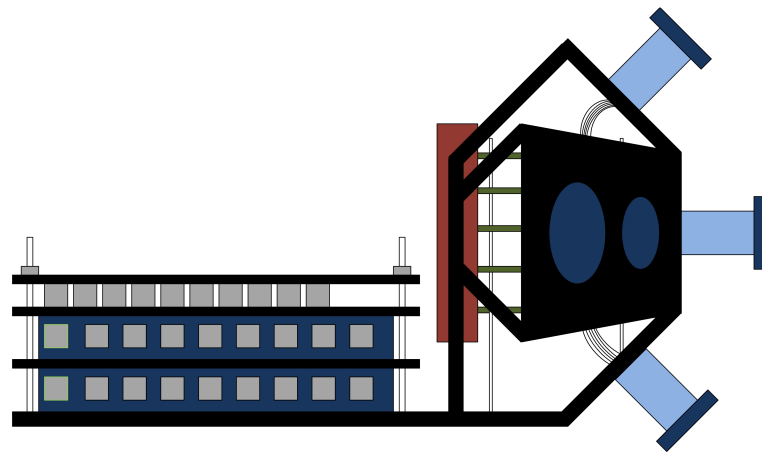


Abbildung 19: Schematische Zeichnung für Verbesserungsvorschlag

Durch die Anordnung der Kameras in einem Winkel von 45° zueinander wirkt das aufgezeichnete Bild kubisch, die Überschneidungen sind offensichtlicher. Durch die Änderung der Winkel lassen sich auch weniger weitwinklige Optiken verwenden um der Verzeichnung entgegenzuwirken. Bei diesem Aufbau wäre auch die Verwendung unterschiedlicher Optiken denkbar. Die FRONT-Kameras werden mit Normaloptiken ausgestattet. Die restlichen Kameras werden mit den üblichen weitwinkligen Optiken ausgestattet. Das dunkelrote Objekt hinter den grünen Platinen stellt den aktiven Lüfter dar, der für die zusätzliche Luftzirkulation sorgt. Durch die Anordnung lässt sich ein geringer horizontaler und vertikaler Bereich abdecken. Allerdings wird so umgangen, dass die untere Kamera stets die Stativbeine im Bild zeigt. Die Postproduktion würde mit einem solchen Aufbau einfacher von statten gehen, da aufgrund der offensichtlichen Überschneidungen mit die Bereich gecropt werden können und somit sauber aneinander liegen.

6 Schlussbetrachtung

Anders als vor der Bearbeitung der Arbeit angenommen, sollte das Kapitel „Evaluation des Bildmaterials“ einen großen Teil der Arbeit einnehmen. Aufgrund der zahlreichen Widrigkeiten war eine breite Bearbeitung dieses Themas nicht im vollen Umfang möglich. Die Gründe dafür wurden in der Auswertung der Tests ausführlich dargelegt. Die Testläufe zeigten, dass der Prototyp zwei des Kamerakomplex in der Praxis nicht verwendet werden kann. Die Ergebnisse bezüglich Bild- und technischen Qualitätsmerkmalen sind nicht zufriedenstellend, da das Gerät zahlreiche Defizite aufweist, die gegen einen sinnvollen Einsatz in der Praxis sprechen. Der Workflow mit dem Gerät stellt sich nach wie vor als äußerst komplex heraus und der Versuch ein „Kalibrierungspreset“ zu entwickeln scheiterte. Die Arbeit stellt in diesem Zusammenhang viele Ansatzpunkte und Verbesserungsvorschläge vor, welche in die fortlaufende Forschung einfließen könnten.

Da das Gerät erstmals in diesem Umfang getestet wurde, ist dieses Ergebnis von vornherein nicht ausgeschlossen gewesen. Der vorliegende Forschungsbericht weist darauf hin, dass es während der Forschungsphase immer wieder zu Verzögerungen in der Fertigstellung des Kamerakomplex kam. Der erste Prototyp hatte lediglich zwei funktionierende Platinen der FRONT-Kamera, welche über USB gesteuert und ausgelesen werden konnten. So konnten Überschneidungen zu anderen Kameras noch nicht in die Betrachtungen einbezogen werden. Mit dem zweiten Prototypen hatte der Nutzer theoretisch einen Zugriff auf alle zehn Kameras. Allerdings wurde der zweite Prototyp erst zum Ende des Forschungszeitraum ausgeliefert. Das vorliegende Gerät konnte aufgrund der fehlenden Zeit nicht mehr auf Tauglichkeit hin geprüft werden. In diesem Sinne stellt die Arbeit in gewisser Weise die Erörterung des eigentlichen Forschungsziels dar.

Werden die Aufnahme ausschließlich auf stereoskopische Merkmale untersucht, so sind die Ergebnisse ausreichend bis mangelhaft. Es kann zu diesem Sachverhalt keine fundierte Wertung gegeben werden, da die fehlende Synchronität der Bilder ein Hauptproblem des Prototyps ist. So fiel es schwer, gemeinsame Teilbilder zu finden und in diese Betrachtung lediglich unbewegte Szenerie nutzbar war. Die Darstellung des Testraums bei unbewegten Bildinhalten war nach der Kalibrierung mittels „Stereo Photo Maker“ durchaus ansehnlich. Alle Objekte sollten im Abstand von mindestens 0,6 Metern zu der Kamera positioniert werden. Ansonsten sind die Disparitäten zwischen den Teilbildern zu groß. Wird dieser Abstand unterschritten kann es zu binokularer Rivalität kommen und das Betrachten der Bilder sehr anstrengend.

Neben der Synchronität stellt die fehlende Wärmeabführung ein großes Problem dar. Zu Beginn des Testlaufs stellte sich heraus, dass sich aufgrund der hohen Stauwärme

im Kopf des Komplex die Platinen ausschalten und somit nicht mehr einsatzfähig sind. Die Aufzeichnung dieser Kameras konnte anschließend nicht mehr durchgeführt werden, da weder eine Streaming-Verbindung noch eine Kamerasteuerung möglich war.

Diese Punkte führten letztlich zu dem Ergebnis, dass die Aufzeichnung stereoskopischen Panoramabilder mit dem vorliegenden Kamerakomplex nicht möglich ist. In diesem Zuge wurde im Rahmen der Arbeit ein neues Konzept für den Aufbau des Gerätes gegeben, welcher ein geringeres Blickfeld bei gleichbleibender Anzahl an Kameras beinhaltet. So lassen sich offensichtliche Schnittmengen zwischen den Kamerabildern schaffen, wodurch ein stitchen der Bilder möglich gemacht wird.

Literaturverzeichnis

Dunker, Achim (2012): Eins zu hundert. Die Möglichkeiten der Kameragestaltung. 2., überarb. Aufl. Konstanz, München: UVK-Verl.-Ges (Praxis Film, Bd. 72).

Hagendorf, Herbert; Müller, Hermann J. (2010): Wahrnehmung und Aufmerksamkeit. 1. Auflage. Berlin: Springer (Springer-Lehrbuch).

Michel, Benoît (2013): Digital stereoscopy. Scene to screen 3D production workflow. Sprimont, Belgium: StereoscopyNews.

Mücher, Michael (2013): Broadcast Fachwörterbuch. 7000 Begriffe und Abkürzungen ; Fernsehen, Videotechnik, Audiotechnik, Multimedia. 17., überarb. u. erw. Aufl. ; Stand 2. Januar 2013. Hamburg: BET Michael Mücher.

Peleg, S.; Ben-Ezra, M.; Pritch, Y. (2001): Omnistereo: panoramic stereo imaging. In: *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.* 23 (3), S. 279–290. DOI: 10.1109/34.910880.

Schmidt, Heinz Ulrich (2009): Professionelle Videotechnik. Grundlagen, Filmtechnik, Fernsehtechnik, Geräte- und Studioteknik in SD, HD, DI, 3D. 5., aktualisierte und erw. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.

Schmidt, Ulrich (2011): Digitale Film- und Videotechnik. [Filmeigenschaften, Videotechnik und HDTV, Filmabtastung, High-Definition-Kamera, Digitale Aufzeichnung, Digital Intermediate, Digital Cinema, Stereo-3D]. 3., erw. Aufl. München: Hanser (Buchreihe Medien).

Tauer, Holger (2010): Stereo 3D. Grundlagen, Technik und Bildgestaltung. 1. Aufl. Berlin: Schiele & Schön.

Vierling, Otto (1965): Die Stereoskopie in der Photographie und Kinematographie. Stuttgart: Wissenschaftlichen Verlagsgesellschaft m.b.H. (Optik und Feinmechanik in Einzeldarstellungen, 5).

Anlagen 1 – Stereobilder



Abbildung 20: Beispiel Stereobild extrem side-by-side



Abbildung 21: Beispiel Stereobild anaglyph korrigiert



Abbildung 22: Beispiel Stereobild anaglyph extrem (groß)



Abbildung 23: Test des Mindestabstands

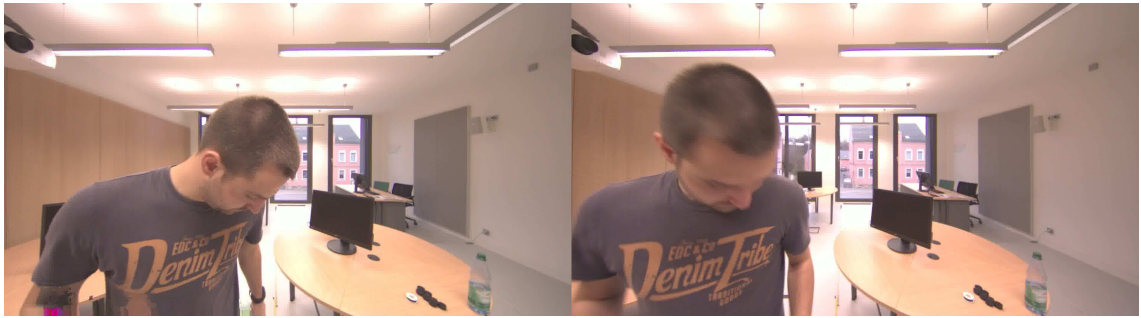


Abbildung 24: Latenz sichtbar im Bild

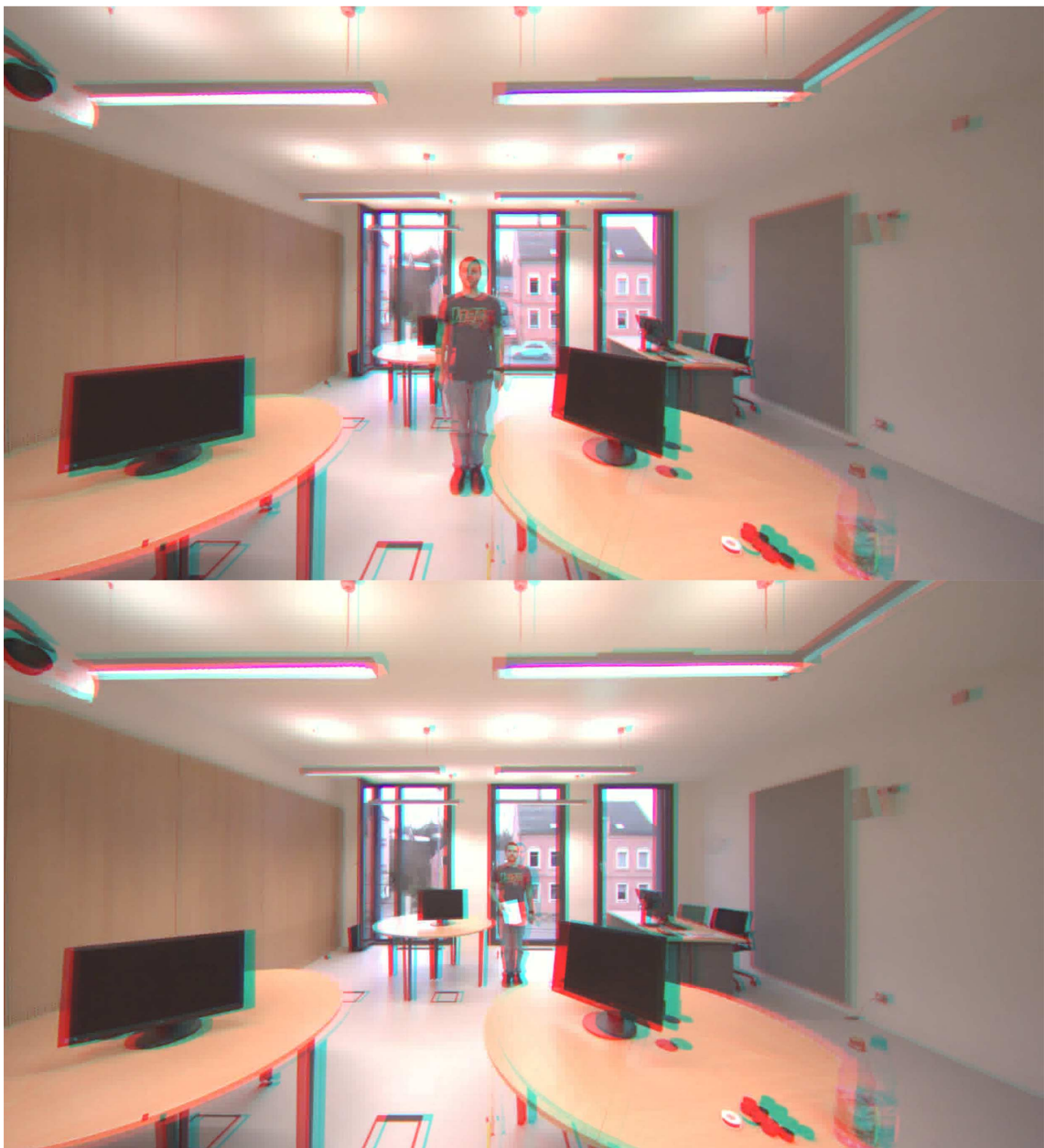


Abbildung 25: Abstände 2,50m und 4,00m

Anlagen 2 – Zeichnungen

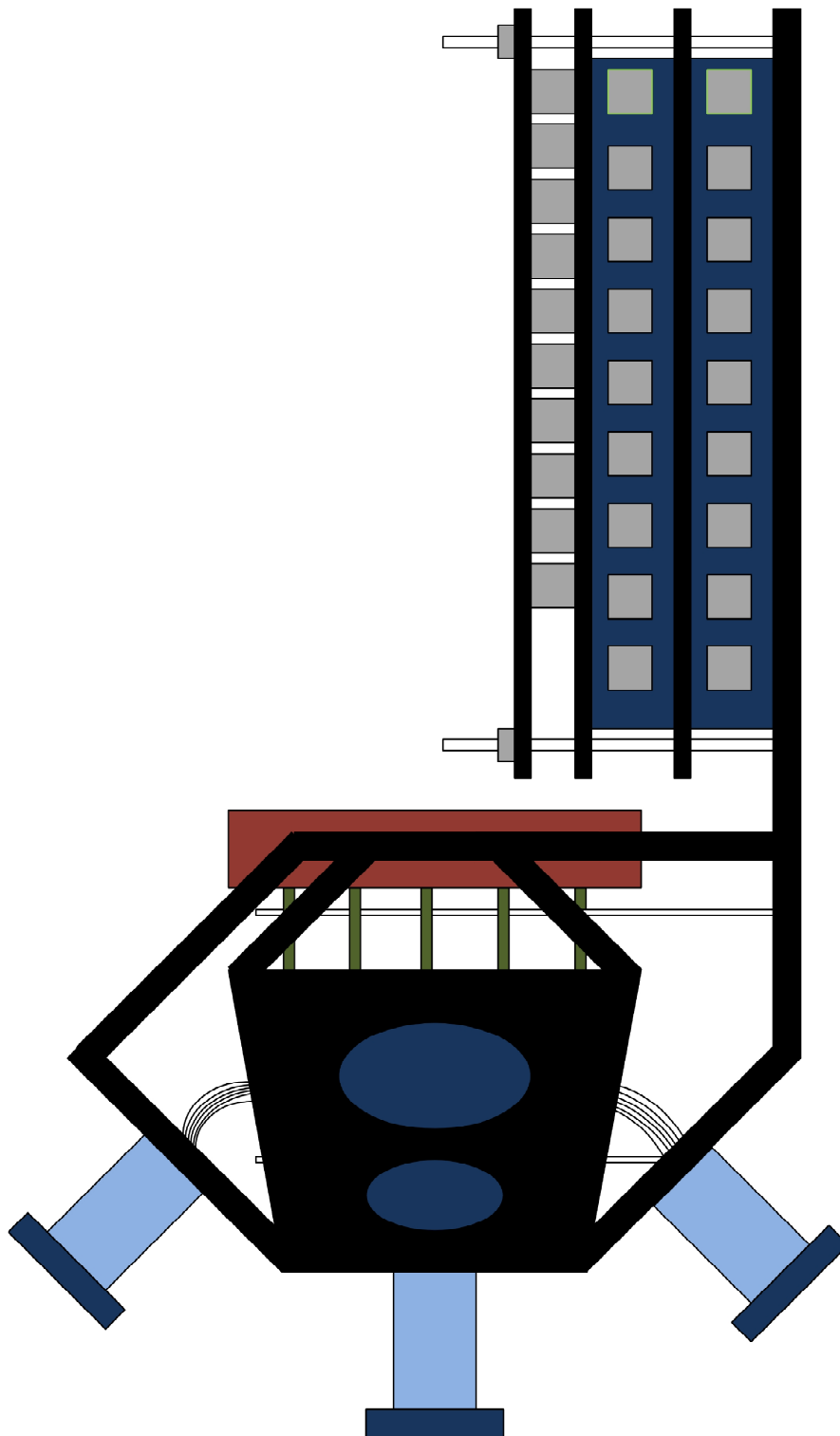


Abbildung 26: Schematische Zeichnung des Verbesserungsvorschlag (groß)

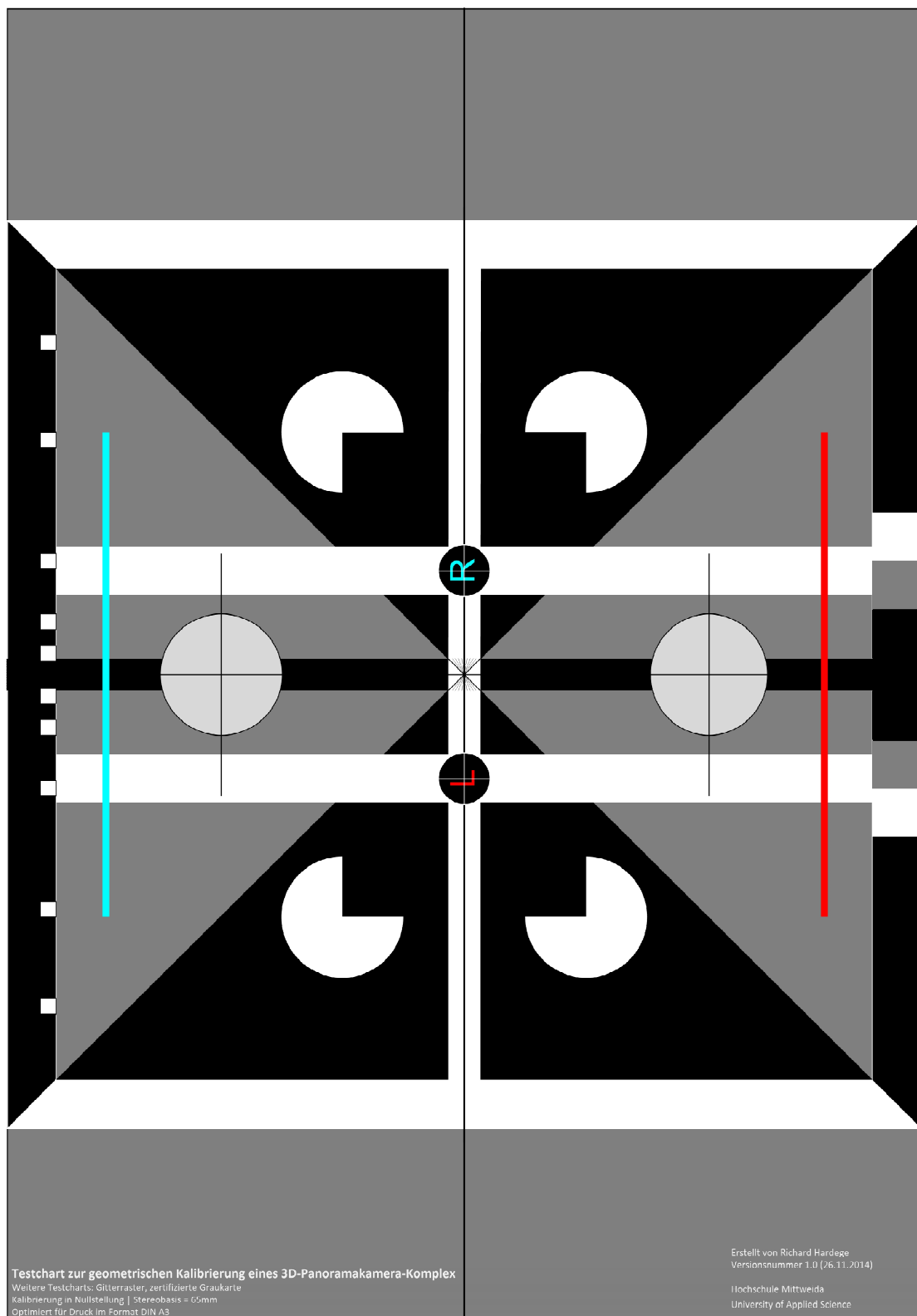


Abbildung 27: Testchart (groß)

Anlagen 3 – Testdokumentation

Tabelle 5: Vollständiges VLM-Script:

VLM-Script zur Aufzeichnung eines Videostreams mittels VLC-Player

```
new camUP-L broadcast enabled
setup camUP-L input
rtsp://169.254.4.50:8557/PSIA/Streaming/channels/2?videoCodecType=H.264
setup camUP-L option live-caching=300
setup camUP-L option sout-keep
#setup camUP-L output #display
setup camUP-L output #standard{access=file,mux=avi,dst="camUP-L.avi"}

new camUP-R broadcast enabled
setup camUP-R input
rtsp://169.254.4.25:8557/PSIA/Streaming/channels/2?videoCodecType=H.264
setup camUP-R option live-caching=300
setup camUP-R option sout-keep
#setup camUP-R output #display
setup camUP-R output #standard{access=file,mux=avi,dst="camUP-R.avi"}

new camFRONT-L broadcast enabled
setup camFRONT-L input
rtsp://169.254.4.30:8557/PSIA/Streaming/channels/2?videoCodecType=H.264
setup camFRONT-L option live-caching=300
setup camFRONT-L option sout-keep
#setup camFRONT-L output #display
setup camFRONT-L output #standard{access=file,mux=avi,dst="camFRONT-L.avi"}

new camFRONT-R broadcast enabled
setup camFRONT-R input
rtsp://169.254.4.45:8557/PSIA/Streaming/channels/2?videoCodecType=H.264
setup camFRONT-R option live-caching=300
setup camFRONT-R option sout-keep
#setup camFRONT-R output #display
setup camFRONT-R output #standard{access=file,mux=avi,dst="camFRONT-R.avi"}

new camLEFT-L broadcast enabled
setup camLEFT-L input
rtsp://169.254.4.40:8557/PSIA/Streaming/channels/2?videoCodecType=H.264
setup camLEFT-L option live-caching=300
setup camLEFT-L option sout-keep
#setup camLEFT-L output #display
setup camLEFT-L output #standard{access=file,mux=avi,dst="camLEFT-L.avi"}

new camLEFT-R broadcast enabled
setup camLEFT-R input
rtsp://169.254.5.120:8557/PSIA/Streaming/channels/2?videoCodecType=H.264
setup camLEFT-R option live-caching=300
setup camLEFT-R option sout-keep
#setup camLEFT-R output #display
setup camLEFT-R output #standard{access=file,mux=avi,dst="camLEFT-R.avi"}
```

```
new camRIGHT-L broadcast enabled
setup camRIGHT-L input
rtsp://169.254.4.35:8557/PSIA/Streaming/channels/2?videoCodecType=H.264
setup camRIGHT-L option live-caching=300
setup camRIGHT-L option sout-keep
#setup camRIGHT-L output #display
setup camRIGHT-L output #standard{access=file,mux=avi,dst="camRIGHT-L.avi"}

new camRIGHT-R broadcast enabled
setup camRIGHT-R input
rtsp://169.254.4.20:8557/PSIA/Streaming/channels/2?videoCodecType=H.264
setup camRIGHT-R option live-caching=300
setup camRIGHT-R option sout-keep
#setup camRIGHT-R output #display
setup camRIGHT-R output #standard{access=file,mux=avi,dst="camRIGHT-R.avi"}

new camDOWN-L broadcast enabled
setup camDOWN-L input
rtsp://169.254.4.15:8557/PSIA/Streaming/channels/2?videoCodecType=H.264
setup camDOWN-L option live-caching=300
setup camDOWN-L option sout-keep
#setup camDOWN-L output #display
setup camDOWN-L output #standard{access=file,mux=avi,dst="camDOWN-L.avi"}

new camDOWN-R broadcast enabled
setup camDOWN-R input
rtsp://169.254.4.10:8557/PSIA/Streaming/channels/2?videoCodecType=H.264
setup camDOWN-R option live-caching=300
setup camDOWN-R option sout-keep
#setup camDOWN-R output #display
setup camDOWN-R output #standard{access=file,mux=avi,dst="camDOWN-R.avi"}

control camUP-L play
control camUP-R play
control camFRONT-L play
control camFRONT-R play
control camLEFT-L play
control camLEFT-R play
control camRIGHT-L play
control camRIGHT-R play
control camDOWN-L play
control camDOWN-R play
```



Abbildung 28: Unschärfe und Komprimierungsfehler

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ort, Datum

Richard Hardege